

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniikan koulutus

Jouni Aalikko
Jonna Liukku

Aurinkoenergiaratkaisujen mitoitus- ja kannattavuusselvitys
K-Supermarket Eväskontille

Opinnäytetyö
Marraskuu 2017



OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2017
Ympäristötekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
Puh. 013 260 600

Tekijät
Jouni Aallikko ja Jonna Liukku

Nimeke
Aurinkoenergiaratkaisujen mitoitus- ja kannattavuusselvitys K-Supermarket Eväskontille

Toimeksiantaja
K-Supermarket Eväskontti

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli mitoittaa aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmät K-Supermarket Eväskontille. Tavoitteena oli tuottaa selvitys, jonka avulla toimeksiantaja saa tietoa aurinkosähkön ja aurinkolämmön tuotannosta ja jonka pohjalta toimeksiantaja voi hankkia kiinteistöön sopivan aurinkoenergiajärjestelmän. Aurinkolämpöjärjestelmä mitoitettiin kiinteistön arvioidun kesäaikaisen lämpimän käyttöveden kulutuksen perusteella ja aurinkosähköjärjestelmä mitoitettiin kiinteistön sähkönkulutuksen ja kiinteistössä käytettävissä olevan kattopinta-alan perusteella. Tavoitteena oli myös selvittää järjestelmien kannattavuudet erilaisten kannattavuuslaskentamenetelmien avulla, jotta toimeksiantajalla olisi kattavat tiedot kannattavimman järjestelmän hankintaan.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuus- ja internetlähteiden sekä mitoitusohjelmien pohjalta. Aurinkoenergiajärjestelmien mitoituksissa käytettiin kiinteistön sijaintitietoja, sähkönkulutus- ja lämpimän käyttöveden kulutustietoja sekä kiinteistön teknisiä tietoja. Työhön saatiin tarjouksia kahdelta aurinkosähköjärjestelmiä toimittavalta yritykseltä ja yhdeltä aurinkolämpöjärjestelmiä toimittavalta yritykseltä. Tarjousten pohjalta tarkasteltiin järjestelmien kannattavuuksia nykyarvomenetelmää, takaisinmaksuaikaa ja sisäisen korkokannan menetelmää käyttäen.

Kannattavimpien aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien korollisiksi takaisinmaksuajoiksi saatiin 11 - 13 vuotta, ja niiden sisäiset korkokannat olivat 9 - 10 %. Aurinkosähköjärjestelmä oli kannattavampi valinta kiinteistöön.

Kieli

suomi

Sivuja 76

Asiasanat

aurinkoenergia, aurinkosähkö, aurinkolämpö, aurinkopaneeli, aurinkokeräin, kannattavuus



THESIS
November 2017
Degree Programme in Environmental
Technology
Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. +358 13 260 600

Authors
Jouni Aallikko & Jonna Liukku

Title
Design and Profitability Survey of Photovoltaic Systems for K-Supermarket Eväskontti

Commissioned by
K-Supermarket Eväskontti

Abstract

The purpose of this thesis was to design photovoltaic and solar heat systems for K-Supermarket Eväskontti. The aim was to offer the client information of photovoltaic and solar heat productions and to design convenient systems for the estate. The aim was also to calculate profitabilities of systems with the help of different methods. The design of the photovoltaic system was based on the power consumption and the roof area of the estate. The design of the solar heat system was based on the approximated warm water consumption of the estate in summer time.

The study was conducted on the basis of written and digital sources and by using different design softwares. Three enterprises that deliver and set up solar energy systems offered collector, panel and price solutions for the designed systems. The profitability analyses were performed by using the present value, internal rate of return and repayment period methods.

The most profitable solar energy repayment periods for the systems were 11 - 13 years, and their internal rate of returns were 9 - 10 %. Based on all profitability analyses, the photovoltaic system was more profitable option for the estate.

Language
Finnish

Pages 76

Keywords
solar energy, photovoltaics, solar heat, solar panel, solar collector, profitability

Sisältö

1	Johdanto	8
2	Keskeiset käsitteet	9
3	Aurinkoenergia	11
3.1	Aurinko energianlähteenä	11
3.2	Auringon säteily Suomessa	11
4	Aurinkosähköjärjestelmä	13
4.1	Aurinkokenno	13
4.2	Aurinkosähköpaneeli	14
4.3	Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä	15
4.4	Aurinkopaneelien sijoittaminen	16
5	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus	17
5.1	Aurinkosähköjärjestelmän tuoton laskenta	17
5.2	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitusperusteita	20
6	Aurinkolämpö	20
6.1	Passiivinen ja aktiivinen aurinkolämpö	20
6.2	Aurinkolämpö ja kaukolämpö	21
7	Aurinkolämpöjärjestelmä	22
7.1	Aurinkokeräinmallit: tasokeräimet ja tyhjiöputkikeräimet	22
7.2	Varaaja	25
7.3	Putkisto	26
7.4	Pumppuyksikkö	27
7.5	Ohjausyksikkö eli säädin	28
7.6	Lämmönvaihdin	29
8	Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus	29
8.1	Järjestelmän osien mitoitus	29
8.2	Aurinkolämpöjärjestelmän tuoton laskentamenetelmä	30
8.3	Aurinkolämpöjärjestelmän apulaitteiden energiankulutus	35
8.4	Aurinkokeräinten sijoitus ja suuntaus	36
9	Aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuus	37
9.1	Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus	37
9.2	Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus	37
9.3	Takaisinmaksuaika	38
9.4	Nykyarvomenetelmä	38
9.5	Sisäinen korkokanta	38
9.6	Herkkyysanalyysi	39
10	Aiemmat tutkimukset	39
11	Tutkimusmenetelmät ja tutkimuskohde	40
11.1	Tutkimusmenetelmät	40
11.2	Tutkimuskohde	41
11.2.1	Mitoitettavan kiinteistön sähkönkulutus	41
11.2.2	Mitoitettavan kiinteistön lämpimän käyttöveden kulutus	43
11.2.3	Varjostukset	43
12	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus kohteeseen	45
12.1	Tarjoukset	45
12.2	Alustavat mitoitukset	46
12.3	Lopullinen mitoitus PV-Simulaatio 3D -ohjelmalla	48
13	Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus kohteessa	50
13.1	Investointituet	50

13.2	Investointilaskelmien lähtötietoja	50
13.3	Nykyarvomenetelmä	52
13.4	Sisäinen korkokanta	52
13.5	Takaisinmaksuaika	53
14	Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus kohteeseen	55
14.1	Tarjoukset	55
14.2	Alustava mitoitus	56
14.3	Lopullinen mitoitus T*SOL-ohjelmalla	60
15	Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus	63
15.1	Investointituki	63
15.2	Investointilaskelmien lähtötiedot	64
15.3	Takaisinmaksuaika	65
15.4	Nykyarvomenetelmä	68
15.5	Sisäinen korkokanta	69
16	Pohdinta	69
16.1	Epävarmuustekijät	71
16.2	Toimenpidesuosituksat	72
	Lähteet	73

Kuvat

- Kuva 1. K-Supermarket Eväskontti (Kuva: Juha Kilpeläinen).
- Kuva 2. Vuotuinen auringonsäteily määrä optimaalisesti suunnatulle ja kallistetulle pinnalle (Kuva: Motiva Oy 2016b).
- Kuva 3. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano (Kuva: Motiva Oy 2016d).
- Kuva 4. (Matthias Fried Oy 2017).
- Kuva 5. Tyhjiöputkikeräin (Matthias Fried Oy 2013).
- Kuva 6. K-Supermarket Eväskontin sijainti kartalla (Kuva: Google Maps).
- Kuva 7. Paneeleille varattu katto-osuus (Kuva: Juha Kilpeläinen).
- Kuva 8. Harjakaton aiheuttama varjostus huopakaton (Kuva: Juha Kilpeläinen).
- Kuva 9. Aurinkokeräinten sijoitteluala katolla (Kuva: Juha Kilpeläinen).
- Kuva 10. PVGIS-ohjelmalla valittu sijainti ja paneelin kallistus- ja suuntakulmat.
- Kuva 11. Minimisähkönkulutuksen perusteella mitoitettu aurinkosähköjärjestelmä PV-Simulaatio 3D -ohjelmalla.
- Kuva 12. Lopullinen mitoitus PV-Simulaatio 3D -ohjelmalla.
- Kuva 13. PVGIS-ohjelmalla valittu sijainti ja keräimen kallistus- ja suuntakulmat.
- Kuva 14. Varaajalle suunniteltu paikka K-Supermarket Eväskontin tiloissa (Kuva: Jouni Aallikko).

Kuviot

- Kuvio 1. K-Supermarket Eväskontin heinäkuun 2016 keskimääräinen tunti kohtainen sähkönkulutus.
- Kuvio 2. K-Supermarket Eväskontin minimisähkönkulutus kesäaikana ja sähköntuotanto 200 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmällä.

Kuvio 3. EL1000-aurinkolämpöjärjestelmän kokonaislämmöntuotanto verrattuna K-Supermarket Eväskontin lämpimän käyttöveden tarpeeseen. Kallistuskulma oli 55 astetta.

Taulukot

- Taulukko 1. Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}$ (Aurinko-opas 2012 2011, 22).
- Taulukko 2. Ilmansuunnan mukainen kerroin F_1 (Aurinko-opas 2012 2011, 21).
- Taulukko 3. Kallistuksen mukainen kerroin F_2 (Aurinko-opas 2012 2011, 21).
- Taulukko 4. Huipputehokerroin K_{max} , joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä (Aurinko-opas 2012 2011, 22).
- Taulukko 5. Tarjouksissa käytetyt aurinkopaneelimerkit ja -mallit sekä 20 kW_p:n järjestelmien hinnat asennettuna näitä paneeleja käyttäen.
- Taulukko 6. Tarjousten lopulliset hinnat.
- Taulukko 7. K-Supermarket Eväskontin sähköenergian hintatiedot heinäkuussa 2017 - syyskuussa 2017.
- Taulukko 8. Nykyarvolaskelman tulokset.
- Taulukko 9. Investointien sisäisen korkokannan tulokset.
- Taulukko 10. Koroton takaisinmaksuaika.
- Taulukko 11. Korollinen takaisinmaksuaika, kun korkokanta on 3 %.
- Taulukko 12. Aurinkosähköjärjestelmien korolliset takaisinmaksuajat eri korkokannoilla.
- Taulukko 13. Aurinkosähköjärjestelmien korolliset takaisinmaksuajat eri sähkön hinnan nousuprosenteilla.
- Taulukko 14. Aurinkosähköjärjestelmien korolliset takaisinmaksuajat, kun järjestelmien hinnat laskevat.
- Taulukko 15. Sundial Finland Oy:n tarjoukset K-Supermarket Eväskontille.
- Taulukko 16. PVGIS-ohjelmasta saadut tulokset eri kallistuskulmille.
- Taulukko 17. Kuukausikeskiarvot kylmän veden lämpötilalle (Ympäristöministeriö - Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi - laskentaopas 2011, 84).
- Taulukko 18. Vuosihyötysuhde lämpimän käyttöveden siirrolle (Ympäristöministeriö 2013, 41).
- Taulukko 19. Sundial Finland Oy:n tarjousten mukaan Microsoft Excel -ohjelmalla laskettu arvio aurinkolämpöjärjestelmän tuotosta.
- Taulukko 20. T*SOL-ohjelman simulaatioiden tulokset.
- Taulukko 21. Kannattavuuslaskelmien lähtötiedot.
- Taulukko 22. Aurinkolämpöjärjestelmien korottomat ja korolliset takaisinmaksuajat 3 %:n laskentakorolla.
- Taulukko 23. Korkokannan vaikutus takaisinmaksuaikaan.
- Taulukko 24. Lämmitysenergian hinnan nousun vaikutus takaisinmaksuaikaan.
- Taulukko 25. Aurinkolämpöjärjestelmän hinnan vaikutus kannattavuuteen.
- Taulukko 26. Nykyarvomenetelmän tulokset 3 %:n laskentakorolla.
- Taulukko 27. Aurinkolämpöjärjestelmien sisäinen korkokanta.
- Taulukko 28. Aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien kannattavuuksien vertailu.

Lyhenteet

kWh	kilowattitunti
W_p	piikkiwatti

1 Johdanto

Ilmastonmuutos, aurinkoenergiajärjestelmien alenevat hinnat sekä sähkön ja lämmityspolttoaineiden hintojen nousu ovat lisänneet ihmisten kiinnostusta aurinkoenergiaa kohtaan. Aurinkoenergiaratkaisut tulevat yhä enenevässä määrin olemaan osa tulevaisuuden hajautettuja energiaratkaisuja. Uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen voi olla olennainen osa yrityksen imagoa, kun ympäristöystävällisemmän energiantuotantomuodon valinta on tärkeää yhä useammalle asiakkaalle.

Opinnäytetyömme aihe tulee K-Supermarket Eväskontilta, ja tarkoituksena on mitoittaa Joensuussa sijaitsevaan päivittäistavarakaupan kiinteistöön aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmät. Mitoitusten pohjalta tarkastellaan sähkön- ja lämmöntuotannon kannattavuutta tarvittavien laskelmien avulla. Opinnäytetyön tarkoituksena on antaa toimeksiantajalle tarvittavat tiedot aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien hankintaa varten sekä tiedot niiden kannattavuudesta kiinteistössä.

K-Supermarket Eväskontti kuuluu Keskon päivittäistavarakauppojen ketjuun. Päivittäistavarakaupoissa kuluu energiaa pääasiassa kylmä- ja LVI-järjestelmiin, valaistukseen ja lämmitykseen (Motiva Oy 2015). K-Supermarket Eväskontin kiinteistö on rakennettu 1970-luvulla, ja sitä on laajennettu 1980-luvulla. Kiinteistö kuuluu Fortumin kaukolämpöverkkoon.

Aurinkosähköjärjestelmä mitoitetaan kiinteistön sähkönkulutuksen ja kattopinta-alan perusteella. Aurinkolämpöjärjestelmä mitoitetaan kesäaikaisen lämpimän käyttöveden kulutuksen mukaan.

Opinnäytetyö toteutetaan parityönä. Työ jakautuu niin, että Jonna Liukku toteuttaa aurinkosähköjärjestelmän mitoitus- ja kannattavuuslaskelmat ja Jouni Aalikko toteuttaa aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus- ja kannattavuuslaskelmat. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii K-Supermarket Eväskontti (kuva 1), ja

sen edustajana kauppias Marko Kosunen. Opinnäytetyön ohjaaja on lehtori Seppo Kainulainen Karelia-ammattikorkeakoulusta.



Kuva 1. K-Supermarket Eväskontti (Kuva: Juha Kilpeläinen).

2 Keskeiset käsitteet

Absorptio tarkoittaa säteilyenergiaa, jonka kappale vastaanottaa (Tahkokorpi ym. 2016, 193).

Aurinkokenno on valosähköinen komponentti, joka muuttaa auringon säteilyn sähköenergiaksi (Tahkokorpi, Erat, Hänninen, Nyman, Rasinkoski & Wiljander 2016, 195).

Aurinkokeräin on järjestelmä, jossa auringon säteilyenergia absorboidaan ja muutetaan lämpöenergiaksi (Aurinkoteknillinen Yhdistys Ry).

Aurinkosähköpaneeli valmistetaan kytkemällä aurinkokennoja sarjaan. Paneeli on pienin aurinkokennoyksikkö. Se on ympäristöltä suojattu ja tuottaa tasavirtaa. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 125, 184.)

Hybridijärjestelmä on järjestelmä, jossa hyödynnetään erilaisia energianlähteitä (Tahkokorpi ym. 2016, 196).

Ilmakeräin tarkoittaa aurinkokeräintä, jossa lämmönsiirtoaineena toimii ilma (Tahkokorpi ym. 2016, 197).

Jäänestoaine on aine, joka lisätään veteen sen jäätyksen estämiseksi talvella (Aurinkoteknillinen Yhdistys Ry).

Kallistuskulma on aurinkokeräimen etupinnan ja vaakatason välinen kulma (Aurinkoteknillinen Yhdistys Ry).

Nestekeräin on aurinkokeräin, jossa neste hoitaa lämmönsiirron. Yleensä käytettävä neste on vesi-glykoliseos. (Tahkokorpi ym. 2016, 202.)

Nykyarvomenetelmässä investointiajanjakson tuotot ja kustannukset diskontataan valitulla laskentakorolla nykyhetkeen. Jos investoinnin nettotuottojen nykyarvo on suurempi kuin investoinnin hankintakustannukset, investointi on kannattava. (Neilimo & Uusi-Rauva 2007, 218.)

Pohjakulutus tarkoittaa energiamäärää, joka kohteella vähintään kuluu jokaisena tuntina, kun aurinkosähköä on mahdollista tuottaa (Motiva Oy 2016a).

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information Systems) on paikkatietojärjestelmä, jonka avulla voidaan arvioida maanpinnalle kohdistuvaa säteilyenergiaa ja aurinkoenergian tuottoa (Paavola 2012).

Sisäinen korkokanta tarkoittaa diskonttauskorkoa, jolla hankkeen nettonykyarvoksi tulee nolla. Sitä voi laskennallisesti pitää investoinnin tuottoprosenttina ja käyttää apuna, kun verrataan aurinkoenergiaa muihin investointeihin. (Tahkokorpi ym. 2016, 188.)

Takaisinmaksuaika tarkoittaa aikaa, jossa investointi maksaa itsensä takaisin, eli sen nettotuotot ylittävät hankintakustannuksen (Neilimo ym. 2007, 223).

3 Aurinkoenergia

3.1 Aurinko energianlähteenä

Aurinko on kaasupallo, jonka ulkokuoren muodostavat pääasiassa vety (75 %) ja helium (23 %). Spektrianalyysin mukaan loppuosa auringon ulkokuoresta muodostuu muista alkuaineista ja maapallolla tuntemattomista kemiallisista yhdisteistä. (Tahkokorpi ym. 2016, 11.)

Auringon energia on peräisin fuusio- eli lämpöydinreaktiosta, josta vapautuva energia antaa auringolle sen $3,8 \times 10^{23}$ kW:n kokonaistehon (Erat ym. 2008, 10). Fuusioreaktiossa kaksi vetyatomin ydintä yhdistyy auringon ytimessä heliumatomiksi, jolloin vapautuu suuri määrä energiaa (Tahkokorpi ym. 2016, 11).

Auringon kokonaistehosta päätyy maapallolle $1,7 \times 10^{14}$ kilowattia. Ilmakehän kaasumolekyylit, vesihöyry ja epäpuhtaudet heikentävät merkittävästi auringonsäteiden pääsyä maapallolle. Ilmakehän vaikutuksesta maanpinnalle tuleva säteily jakautuu suoraan auringonsäteilyyn, hajasäteilyyn ja ilmakehän vastasäteilyyn. Suora auringonsäteily on suoraan ilmakehän läpi tullutta auringon säteilyä. Hajasäteily tarkoittaa ilmakehän ja pilvien heijastamaa säteilyä. Ilmakehän vastasäteily tarkoittaa lämpöä, jota ilmakehä säteilee takaisin maanpinnalle. (Tahkokorpi ym. 2016, 11 - 14.) Näiden säteilymuotojen summa vähennettynä maanpinnan takaisin avaruuteen heijastamalla säteilyllä on pinnalle jäävä teho (Erat ym. 2008, 12).

3.2 Auringon säteily Suomessa

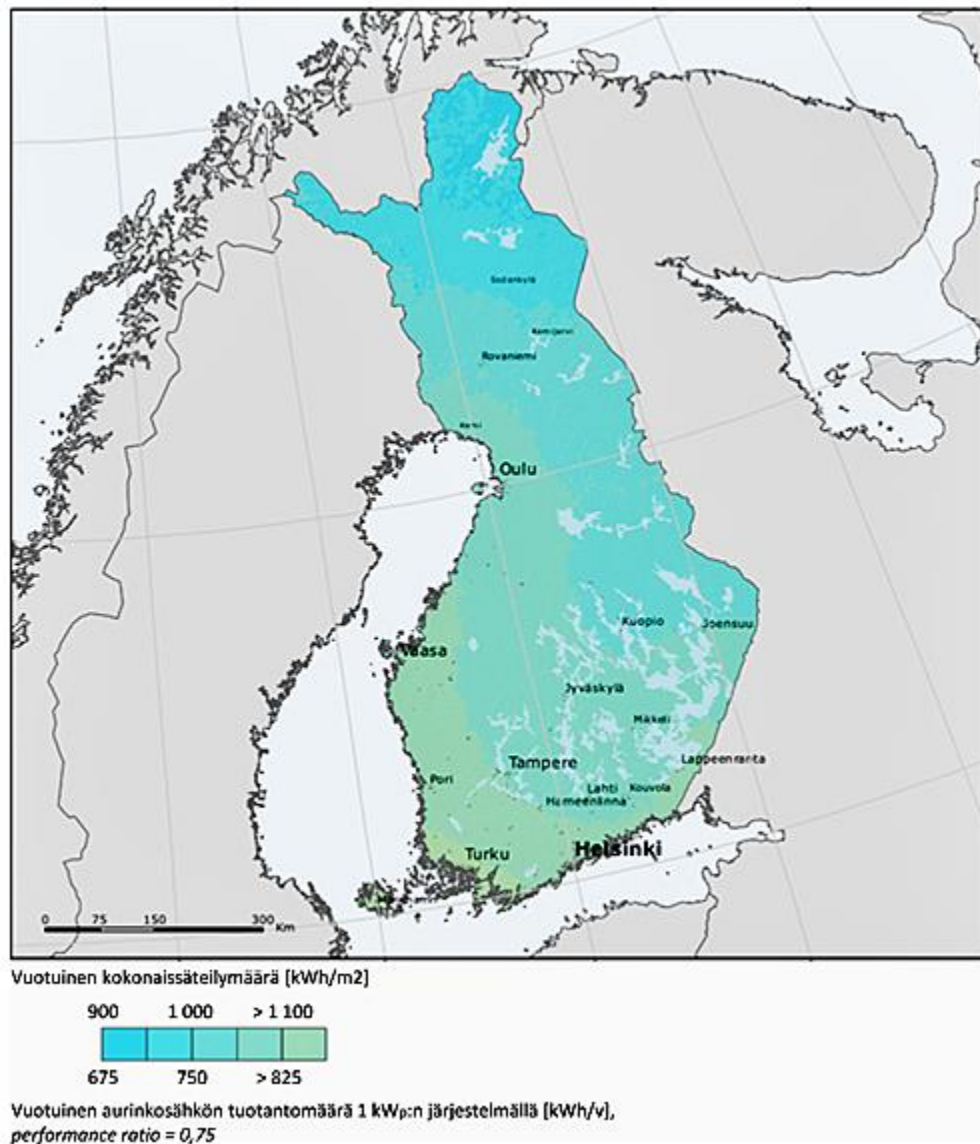
Aurinkosäteily vaakatasossa olevalle keräineliömetrille vuositasolla on Etelä-Suomessa noin 1 000 kilowattituntia ja Keski-Suomessa noin 900 kilowattituntia. Sääolosuhteet vaikuttavat säteilyn määrään hetkellisesti. Säteilyn määrää voi suhteellisen luotettavasti arvioida keskimääräisten säätietojen perusteella. (Tahkokorpi ym. 2016, 17.) Suomessa merkittävä osa kokonaissäteilystä on ha-

jasäteilyä. Aurinkopaneelien tuoton kannalta ei ole merkitystä, onko säteily suoraa vai hajasäteilyä (Motiva Oy 2016b).

Suomessa säteily keskittyy kesäkuukausille, jolloin aurinkopaneelien tuotanto vaihtelee merkittävästi vuodenaikojen mukaan (Motiva Oy 2016b). Esimerkiksi Helsingissä aurinko paistaa joulukuussa vain viisi tuntia vuorokaudessa, kun taas kesäkuussa melkein 20 tuntia. Auringon säteily on voimakkaimmillaan touko-heinäkuun aikana. (Suntekno 2012a.)

Aurinkoenergiälaitteeseen tulevaan energian määrään vaikuttaa sen sijainti, kallistuskulma ja suuntaus. Laitte tulisi sijoittaa mahdollisimman varjottomaan paikkaan, etteivät varjostukset vaikuta sen energiantuotantoon. Optimaalisin suuntaus aurinkoenergiajärjestelmälle on kohti etelää. Järjestelmä voidaan suunnata myös idän ja lännen väliselle alueelle, mutta se heikentää energiantuotantoa. (Tahkokorpi ym. 2016, 18.)

Aurinkoenergiälaitteesta saa parhaan tehon, kun säteily tulee siihen kohtisuoraan eli tulokulma on 0° . Auringon korkeus horisontista vaihtelee Suomessa merkittävästi eri vuodenaikoina. Keskimääräinen optimikallistus on 45 astetta. (Tahkokorpi ym. 2016, 18). Suuntaamalla paneelit 45 asteen kulmassa etelään voidaan lisätä säteilyn määrää vuositasolla 20 - 30 % vaakasuoraan asennukseen verrattuna (kuva 2) (Motiva Oy 2016b).



Kuva 2. Vuotuinen auringonsäteily määrä optimaalisesti suunnatulle ja kallis teltulle pinnalle (Kuva: Motiva Oy 2016b).

4 Aurinkosähköjärjestelmä

4.1 Aurinkokenno

Aurinkokennot valmistetaan puolijohdemateriaalista, joka muuttuu sähköä johtavaksi, kun siihen osuu energiaa (Erat ym. 2008, 12). Kennot valmistetaan suurimmaksi osaksi yksi- tai monikiteisestä piistä (Tahkokorpi ym. 2016, 137). Kenno koostuu kahdesta erityyppisestä puolijohdekerroksesta (p ja n), joita

erottaa rajapinta. Kun auringon valo kohdistuu kennoon, osalla valohiukkasista on niin suuri energia, että ne pääsevät rajapinnalle ja muodostavat elektroni-aukko -pareja. Elektronit kasatuvat rajapinnan n-puolelle ja aukot p-puolelle, mikä synnyttää sisäisen sähkökentän. (Suntekno 2012b.) Sähkökentän vaikutuksesta elektroni-aukko -pareja voidaan käyttää tuottamaan virtaa. Metallijohtimiin syntyy sähkövirta, kun auringonvalo irrottaa elektroneja. (Erat ym. 2008, 121.)

Yksi aurinkosähkökenno tuottaa noin 0,5 Voltin tasajännitteen (Tahkokorpi ym. 2016, 121). Aurinkokennon tuottama sähkövirta riippuu muodostuvien elektroni-aukko -parien lukumäärästä. Siksi sähkövirtaan vaikuttaa kennon pinta-ala ja auringon säteilyn voimakkuus. Kennon tuottama sähkövirta on kirkkaalla auringonpaisteella noin 32 mA/cm². (Suntekno 2012b.)

Aurinkokennon hyötysuhde on se osuus auringon säteilyenergiasta, joka voidaan muuttaa sähköksi. Aurinkosähköjärjestelmän hyötysuhde on kaikkien sen osien hyötysuhteet yhdessä. (Tahkokorpi ym. 2016, 125.)

4.2 Aurinkosähköpaneeli

Aurinkosähköpaneeli muodostetaan kytkemällä aurinkokennoja sarjaan. Aurinkosähköpaneeli on tasavirtalähde, ja niitä voi kytkeä sarjaan ja rinnan tarvittavan jännitteen ja virran saavuttamiseksi. Kun paneeli yhdistetään sähköjohtimilla kuormaan, syntyy virtapiiri. Virran suuruus on suoraan verrannollinen säteilyn voimakkuuteen, sillä pilvisellä säällä säteilyn energia on heikompi kuin auringonpaisteella. Paneeli lasitetaan ja kehystetään alumiinikehyksillä. Kaikki järjestelmään kuuluvat paneelit muodostavat paneeliston. (Erat ym. 2008, 125-126.)

Edullisten aurinkosähköpaneelien hyötysuhde on yleensä 15 - 17 prosenttia, ja parhaiden kaupallisten paneelien yli 20 prosenttia. Paneelin hyötysuhteeseen vaikuttaa aurinkokennon hyötysuhteen lisäksi muun muassa etulasin laatu ja paneelin mekaaninen rakenne. (Tahkokorpi ym. 2016, 137, 142.)

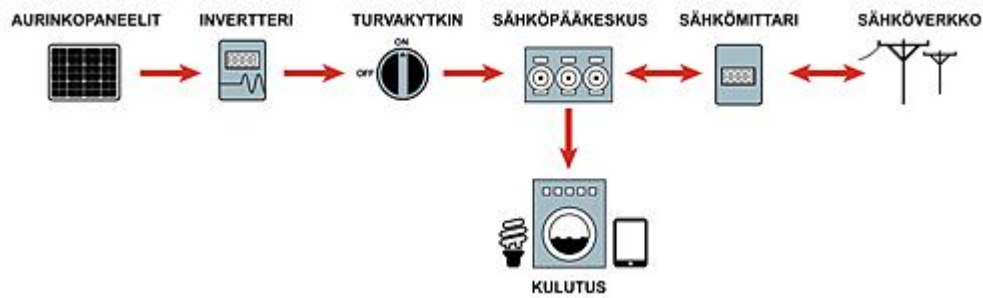
Aurinkopaneelien tekninen elinikä voi olla yli 30 vuotta, ja niille on saatavilla jopa 25 vuoden tehontuottotakuu. Yleensä tämä tarkoittaa sitä, että paneelit tuottavat ensimmäisten 10 vuoden aikana sähköä vähintään 90 %:n teholla valmistajan ilmoittamasta nimellistehosta ja 25 vuoden ajan 80 %:n teholla valmistajan ilmoittamasta nimellistehosta. (Motiva Oy 2016c.)

4.3 Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä

Sähköverkkoon liitetyn aurinkosähköjärjestelmän pääosat ovat aurinkopaneelit ja invertteri (kuva 3). Invertterin avulla aurinkopaneelien tuottama tasavirta muutetaan vaihtovirraksi, joka vastaa kiinteistön sähköverkon ja jakeluverkon vaatimuksia. (Motiva Oy 2016d.) Invertterin elinikä Suomessa on todennäköisesti yli 20 vuotta, mutta kustannuslaskelmissa kannattaa varautua siihen, että invertteri joudutaan vaihtamaan kerran järjestelmän eliniän aikana. Verkkoon liitetyissä järjestelmissä aurinkosähkö voidaan syöttää ensin kiinteistön omaan käyttöön ja sitten sähköverkkoon, ellei omaa kulutusta ole riittävästi. (Tahkokorpi ym. 2016, 142.)

Invertteri voi olla joko 1- tai 3-vaiheinen. 1-vaiheinen invertteri kytketään yhteen kolmesta verkon vaiheesta. Tällöin aurinkosähköä voivat hyödyntää vain kyseiseen vaiheeseen kytketyt sähkölaitteet. 3-vaiheisella invertterillä saadaan aurinkosähköjärjestelmästä suurin hyöty, sillä sen avulla sähköä voidaan syöttää kaikkiin kohteen sähkölaitteisiin. 1-vaiheiset invertterit ovat tällä hetkellä ainoa vaihtoehto alle 3 kW_p:n järjestelmiin. (Motiva Oy 2016d.)

Kiinteistökokoluokan verkkoon kytketyissä järjestelmissä vaaditaan kaapelit kytkentöjä varten. Lisäksi suojalaitteet ja tasavirtapiirin turvakytin ovat pakollisia järjestelmässä. Kiinteistön aurinkosähköjärjestelmässä on oltava myös lukittava vaihtovirtapiirin turvakytin, johon verkkoyhtiöllä on vapaa pääsy. Sähkönjakeluverkon haltijan vastuulla on hankkia järjestelmään energiamittari, jolla mitataan verkkoon syötettyä ja sieltä otettua tehoa. (Motiva Oy 2016d.)



Kuva 3. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano (Kuva: Motiva Oy 2016d).

4.4 Aurinkopaneelien sijoittaminen

Suomessa aurinkosähköpaneelien paras kallistuskulma on vaakatasoon nähden 30° - 90° . 30 asteen kallistuskulmalla saadaan paras sähköntuotto kesäaikaan ja 75° - 90° kallistuskulmalla talviaikaan. 45 asteen kallistuskulma on optimaalisin vuotuisen sähköntuotannon maksimointiin. Alle 15 asteen kallistuskulma voi aiheuttaa pölyn ja lumen kerääntymistä paneelien pinnalle, mikä häiritsee niiden sähköntuotantoa. (Erat ym. 2008, 145.)

Paras suuntaus aurinkopaneeleille on kohti etelää, mutta ne voidaan suunnata myös idän ja lännen väliselle alueelle, jos edessä on esimerkiksi varjostava talo. Kaakon ja lounaan välille suunnatun aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto ei ole merkittävästi alhaisempi kuin etelään suunnatun järjestelmän. Suuntauksen suunnittelussa voidaan huomioida myös järjestelmän kuormitus. Jos huippukuormitus on aamulla, järjestelmä kannattaa suunnata kohti itää, jos taas illalla, paneelit voi suunnata länteen. (Tahkokorpi ym. 2016, 17 - 18.)

Tärkeintä on, ettei paneeli tai mikään sen kennoista jää varjoon. Varjostus vähentää huomattavasti paneelin energiantuottoa. (Erat ym. 2008, 146.)

5 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

5.1 Aurinkosähköjärjestelmän tuoton laskenta

Rakennukseen liitetyn aurinkosähköjärjestelmän vuotuinen energiantuotanto voidaan laskea tällä menetelmällä, joka noudattaa standardia SFS EN 15316-4-6, mihin on liitetty kansalliset kertoimet ja taulukkoarvot (Aurinko-opas 2012 2011, 20).

Aurinkokennojen tuottama sähköenergia lasketaan kaavalla

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{sol} \cdot P_{maks} \cdot F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad (5.1)$$

jossa

E_{sol}	=	aurinkosähkökennoihin kohdistuva vuosittainen säteilyenergia [kWh/m ² , a]
P_{maks}	=	aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho referenssisäteilytilanteessa ($I_{ref} = 1 \text{ kW/m}^2$, referenssilämpötilassa 25 °C) [kW]
$F_{käyttö}$	=	käyttötilanteen toimivuuskerroin [-]
I_{ref}	=	referenssisäteilytilanne [1 kW/m^2] (Aurinko-opas 2012 2011, 20).

$F_{käyttö}$ (taulukko 1) huomioi aurinkokennon ympäristön tekijöitä, kuten sähköenergian inversion tasavirrasta vaihtovirtaan sekä kennon toimintalämpötilan ja asennusympäristön vaikutukset. Jos ympäristön aiheuttamia varjostuksia aurinkokennoille esiintyy, $F_{käyttö}$ -kerrointa korjataan varjostuksen suhteellisella määrällä koko kennoston pinta-alasta ($1 - A_{varjostus}/A_{kokonaisala}$). (Aurinko-opas 2012 2011, 21.)

Taulukko 1. Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}$ (Aurinko-opas 2012 2011, 22)

Aurinkokennon asennustapa	Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}[-]$
Tuulettamaton moduli	0,70
Hieman tuuletetty moduli	0,75
Voimakkaasti tuulettuva tai koneellisesti tuuletetty moduli	0,80

Kennostoon vuoden aikana kohdistuva auringon säteilyenergia lasketaan kaavalla

$$E_{\text{sol}} = E_{\text{sol,hor}} \cdot F_{\text{asento}} \quad (5.2)$$

jossa

$$E_{\text{sol,ho}} = \text{rakennuksen sijaintipaikasta riippuva vaakatasolle osuva auringonsäteilyn kokonaisenergia vuodessa [kWh/m², a]}$$

$$F_{\text{asento}} = \text{korjauskerroin aurinkosähkökennon ilman suunnan ja kallistuskulman mukaan [-] (Aurinko-opas 2012 2011, 20 - 21).}$$

F_{asento} lasketaan kaavalla

$$F_{\text{asento}} = F_1 F_2$$

jossa

$$F_1 = \text{ilmansuunnan mukainen kerroin (taulukko 2)}$$

$$F_2 = \text{kallistuksen mukainen kerroin (taulukko 3) (Aurinko-opas 2012 2011, 21).}$$

Taulukko 2. Ilmansuunnan mukainen kerroin F_1 (Aurinko-opas 2012 2011, 21)

Suuntaus	F_1
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Taulukko 3. Kallistuksen mukainen kerroin F_2 (Aurinko-opas 2012 2011, 21)

Kallistuskulma	Kerroin
<30°	1
30°...70°	1,2
>70°	1

Aurinkosähkökennojen tuottama sähköteho P_{\max} on laitteen testattu teho standardiolosuhteissa. Menetelmä on kuvattu standardissa SFS-EN 61829. Jos testattua tulosta ei ole käytettävissä, lasketaan P_{\max} kaavasta

$$P_{\max} = K_{\max} \cdot A \quad (5.3)$$

jossa

K_{\max}	=	huipputehokerroin, joka riippuu taulukon 4 mukaan aurinkosähkökennon tyypistä [kW/m ²]
A	=	aurinkosähkökennon pinta-ala ilman kehystä (Aurinko-opas 2012 2011, 21.)

Taulukko 4. Huipputehokerroin K_{\max} , joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä (Aurinko-opas 2012 2011, 22)

Aurinkosähkökennon tyyppi	Huipputehokerroin K_{\max} kW/m ²
piipohjaiset yksikiteiset kennot *	0,12...0,18
piipohjaiset monikiteiset kennot *	0,10...0,16
ohutkalvo kiteetön pii kennot	0,04...0,08
muut ohutkalvotekniikalla toteutetut kennot	0,035
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CuInGaSe ₂ kenno	0,105
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CdTe kenno	0,095
* pakkaustiheys >80 %	

5.2 Aurinkosähköjärjestelmän mitoituspäruusteita

Verkkoön kytketyn aurinkosähköjärjestelmän mitoitus voi perustua esimerkiksi kohteen pohjakulutukseen, keskimääräiseen kulutukseen tai käytettävissä olevaan katto-, seinä- tai maapinta-alaan (Motiva Oy 2016e).

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa kannattaa pyrkiä siihen, että aurinkosähkö korvaa maksimaalisesti ostosähköä, sillä nykyhinnoilla sähkön myynti verkkoön ei ole vielä kovin kannattavaa (Tahkokorpi ym. 2016, 136). Taloudellisesti paras lopputulos saavutetaan, kun mahdollisimman suuri osuus aurinkosähköjärjestelmän tuotosta hyödynnetään omassa kulutuksessa (Motiva Oy 2016a).

Pohjakulutus tarkoittaa energiamäärää, joka kohteella vähintään kuluu jokaisena tuntina, kun aurinkosähköä on mahdollista tuottaa. Sähkönkulutus voi siis esimerkiksi yöaikaan olla lähes nolla, mutta sitä ei huomioida mitoituksessa, sillä silloin ei ole tuotantoakaan. Mitoitettavan kohteen pohjakulutus voidaan selvittää sen tuntikohtaisista sähkönkulutustiedoista. Jo yhden vuoden sähkönkulutustiedoilla voi selvittää kohteen pohjakulutuksen melko tarkasti. (Motiva Oy 2016a.)

Vuotuista kokonaistuotantoa voidaan kasvattaa mitoittamalla järjestelmä siten, että parhaana tuotantoaikana tuotettua sähköä jää myytäväksi sähköverkkoon, jolloin keväällä ja syksyllä tuotettu sähkö riittää pitemmäksi ajaksi omiin tarpeisiin. (Motiva Oy 2016a.)

6 Aurinkolämpö

6.1 Passiivinen ja aktiivinen aurinkolämpö

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää passiivisesti ja aktiivisesti. Lämmön varastointi kuuluu olennaisena osana niin passiiviseen kuin aktiiviseen hyödyntämi-

seen. Passiivisesti auringosta saatava valo ja lämpö voidaan hyödyntää suoraan ilman erillisiä laitteita. (Motiva Oy 2016f.) Kaikki rakennukset varastoivat aurinkoenergiaa, mutta sen määrään vaikuttaa rakennusten sijoitus, suuntaus, muoto, ikkunoiden koko ja sijainti sekä käytetyt rakennusmateriaalit. Hyödyntämällä aurinkoenergiaa passiivisesti voidaan hyvin sijoitetussa ja asiantuntevasti suunnitellussa rakennuksessa tyydyttää noin viidesosa kokonaislämmöntarpeesta. (Erat, Erkkilä, Löfgren, Nyman, Peltola & Suokivi 2001, 52.)

Aktiivisessa hyödyntämisessä auringonsäteily muunnetaan aurinkokeräinten avulla lämpöenergiaksi. Aurinkokeräimillä tuotettu lämpö varastoidaan tavallisesti käyttövesivaraajaan, mutta lisäksi myös hybridijärjestelmien isompaan vesivaraajaan. Mahdollista on myös varastoida tuotettu lämpö esimerkiksi lämpökaivoihin, rakennuksen alle maaperään tai käyttää kaukolämmön tuotannossa. (Motiva Oy 2016f.) Tässä opinnäytetyössä keskitymme aktiiviseen aurinkonlämpöön.

6.2 Aurinkolämpö ja kaukolämpö

Aurinkolämpöjärjestelmä sopii hyvin yhteen kaukolämmön kanssa. Lämmin käyttövesi esilämmitetään aurinkolämpövaraajassa, jolloin käyttöpisteeltä saa aina sopivan lämpöistä vettä ilman, että tarvitsee välittää paistaako aurinko vai ei, koska tarvittava loppulämmitys hoituu kaukolämmöllä. Kaukolämmölle sopii erinomaisesti yksinkertainen kytkentätapa, koska siinä kylmää ja kuumaa vettä ei sekoiteta sopivan käyttöveden aikaansaamiseksi. Tämän sijasta lämpökeskuksen levylämmönsiirtimelle tulevaa vettä lämmitetään kaukolämpövedellä sen verran, että lähtevän veden lämpötila on haluttu. Esimerkiksi jos tuleva vesi on lämmitetty 30-asteiseksi, niin kaukolämpö hoitaa loppulämmityksen 30 asteesta 55 asteeseen. Tällöin kaukolämpöä tarvitaan vähemmän ja säästöä syntyy. Varaajan rajoitintermostaatti huolehtii siitä, että liian kuuma vesi ei pääse lämmönsiirtimelle. (Tahkokorpi ym. 2016, 124 - 125.)

K-Supermarket Eväskontti kuuluu Fortumin kaukolämpöverkon piiriin. Fortum tuottaa sähköä ja kaukolämpöä pääasiassa biopolttoaineella, lähinnä metsäteol-

lisuuden sivutuotteilla, joita ovat puru, kuori sekä kierrätyspuu (Fortum 2017). Fortum on hyvin myönteinen energian säästämistä ja sitä kautta K-Supermarket Eväskontin aurinkolämpöjärjestelmän hankintaa kohtaan. Järjestelmän hankkimista ja asentamista varten ei tarvitse erillisiä lupia Fortumilta, mutta asennusvaiheessa on hyvä olla yhteydessä Fortumin omiin LVI-asentajiin, jotta asennus sujuu ongelmitta eikä kaukolämmön syöttöön tule häiriöitä. (Kallio 2017.)

7 Aurinkolämpöjärjestelmä

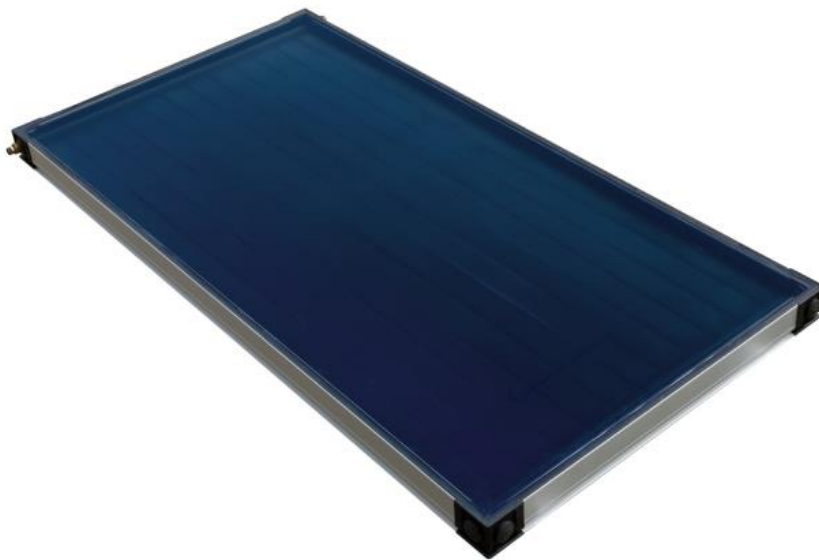
Aurinkolämpöjärjestelmä koostuu useasta eri komponentista ja laitteesta (Solpros Ay 2006, 6). Keskeisimmät osat ovat aurinkokeräin, varaaja, pumppuyksikkö, putkisto, lämmönvaihdin ja ohjausyksikkö eli säädin (Erkkilä 2003, 30).

7.1 Aurinkokeräinmallit: tasokeräimet ja tyhjiöputkikeräimet

Tasokeräimen lähes koko pinta ottaa vastaan säteilyä. Säteily kerätään tumman keräinelementin avulla. Elementin tumma pinta absorboi siihen tulevasta säteilystä suurimman osan ja alkaa kuumeta. Elementti on usein metallirakenteinen, mutta jonkin verran käytetään myös lämpöä kestäviä muoveja. (Tahkokorpi, Erat, Hänninen, Nyman, Rasinkoski & Wiljander 2016, 84.) Tasokeräimillä, joissa on suuri absorptiopinta, päästään parhaimpaan hyötysuhteeseen, kun tuotettava lämpötila on suhteellisen matala eli lämpötilaero keräimen ja ympäristön välillä ei ole kovin suuri. Tästä syystä lämmitysjärjestelmissä pitäisi käyttää mahdollisimman matalia lämpötiloja sallivia lämmönjakotapoja. Lisäksi aurinkolämpö tulisi syöttää järjestelmässä mahdollisimman viileään kohtaan. Esimerkiksi vesikiertoisessa lattialämmityksessä tasokeräinjärjestelmä toimii huomattavasti paremmin kuin patteriverkossa johtuen matalammasta lämpötilatasosta. (Motiva Oy 2016g.)

Tasokeräimet (kuva 4) varustetaan yleensä läpinäkyvällä katteella, koska ilman sitä lämpöhäviöt ovat suuret. Kattamattomia keräimiä käytetään myös, mutta

vain tuotettaessa hyvin alhaisessa lämpötilassa olevaa lämpöenergiaa, kuten esimerkiksi uima-altaiden lämmityksessä. Yleensä yksi katekerros riittää, sillä jokainen kerros nostaa laitteen hintaa ja vähentää absorptiopinnalle tulevaa säteilyenergiaa. Yleisin ratkaisu on vähärautainen erikoislasi, joka kestää oikein asennettuna keräimen lämpötilaerot ja läpäisee yli 90 prosenttia auringonsäteilystä. (Motiva Oy 2016h.)



Kuva 4. Tasokeräin (Matthias Fried Oy 2017).

Aurinkokeräinten lämmönsiirtoaineena voidaan käyttää joko nestettä tai ilmaa. Lämmönsiirtoaineen perusteella keräimet voidaan jakaa nestekiertoisiin tasokeräimiin ja ilmakiertoisiin tasokeräimiin. Lämmönsiirtoaineen avulla lämpö saadaan siirrettyä keräinkentästä putkistoa pitkin lämpövarastoon tai suoraan kuluutukseen. (Tahkokorpi ym. 2016, 86 - 87.) Keräinten kiertoneste on yleensä pakkasenkestävää. Vaikka veden lämmönsiirto-ominaisuudet ovat paremmat kuin muilla nesteillä, voidaan vettä käyttää vain sellaisissa järjestelmissä, joissa ei ole jäätymisvaaraa. (Motiva Oy 2016i.) Tällaisia sovelluskohteita on muun muassa ulkouima-allas tai kesämökki. Ympärivuotisissa nestekiertoisissa järjestelmissä jäätymisen estämiseksi veteen sekoitetaan yleensä propyleeniglykoliin pohjautuvaa jäänestoaainetta. Veden ja jäänestoaineen sekoituksella saadaan alennettua jäätympistettä ja nostettua kiehumispistettä. Puhtaaseen veteen verrattuna lämmönsiirtokyky ja pumpattavuus ovat kuitenkin jonkin verran huonommat. (Tahkokorpi ym. 2016, 87 - 88.)

Ilmakeräin on lämmönsiirrin, jonka lämmönsiirtoaineena toimii ilma. Ilman lämmönvastaanotto- ja lämmönsiirtokyky ovat huonommat kuin vedellä, mutta hyvin toimivia laitteita saadaan kuitenkin rakentamalla absorptioelementtejä, joissa on suuri lämmönsiirtopinta. Jos ilman avulla halutaan siirtää sama lämpömäärä kuin esimerkiksi vedellä, tarvitaan noin 4 000 kertaa suurempi ilmamäärä. Tämä edellyttää ilmakeräimellä suurempia kanavia, koska ilman ja veden virtausnopeudet ovat samat. (Erat ym. 2001, 76 - 77.)

Tyhjiöputkikeräimessä (kuva 5) absorboiva pinta sijaitsee putken pinnalla. Siinä putki on suljettu suurempaan lasiputkeen, josta ilma on poistettu, joten kuuma putki saadaan hyvin lämpöeristettyä ympäristöstään. Tästä syystä tyhjiöputkikeräimillä päästään korkeampiin lämpötiloihin kuin tasokeräimillä. (Tahkokorpi, Hagström & Vanhanen 2011, 9.) Lämmöntuotto tyhjiöputkissa voi olla varsinkin kylminä vuodenaikoina suurempi kuin tasokeräimissä. Lämpiminä vuodenaikoina taso- ja tyhjiöputkikeräinten lämmöntuotoissa ei ole kovinkaan suuria eroja. (Tahkokorpi ym. 2016, 84.)



Kuva 5. Tyhjiöputkikeräin (Matthias Fried Oy 2013).

Lämmönsiirto tyhjiöputkesta lämmönsiirtonesteeseen tapahtuu läpivirtausperiaatteella tai lämpöputken (heat pipe) avulla. Tyhjiöputkikeräimessä, joka toimii

läpivirtausperiaatteella, neste virtaa joko u:n muotoisessa putkessa tai sisäkkäin olevista putkista muodostetussa koaksiaaliputkessa. Heat pipe -tyyppisessä tyhjiöputkessa lämmönsiirtoliitos on aina kuiva. (Tahkokorpi ym. 2016, 96 - 97.)

7.2 Varaaja

Auringonpaisteen vuodenaikaiset ja vuorokautiset muutokset ovat ennakoitavissa, mutta sään aiheuttamia vaihteluita ei voi luotettavasti hallita. Tästä syystä energian varastointi kuuluu olennaisena osana aurinkolämmön hyödyntämiseen. Järjestelmän hyödyntämisen kannalta varaaja on jopa tärkeämpi komponentti kuin keräimet. Tavallisesti lämpöä varastoidaan muutamia päiviä tasamaan vuorokautisia ja sään aiheuttamia vaihteluita. (Tahkokorpi ym. 2016, 105.)

Aurinkolämpöjärjestelmissä ylivoimaisesti yleisin lämpöenergian varastointiratkaisu on vesivaraaja. Varaajan tilavuus riippuu keräinten koosta ja niiden tuottamasta lämpöenergian määrästä. Yleisesti voidaan ajatella varaajatilavuuden olevan 50 - 100 litraa keräinneliötä kohti. Keräinneliömetri voi tuottaa aurinkoisena päivänä kahdesta neljään kilowattituntia lämpöenergiaa. Se nostaa sadan litran vesimäärän lämpötilaa 15 - 30 astetta ja vastaavasti 50 litran vesimäärän lämpötilaa 30 - 60 astetta. Varaajatilavuuden lisäksi varaajan lataus- ja purkauskytkenät vaikuttavat siihen kuinka paljon aurinkoenergiaa voidaan päivittäin käyttää. (Tahkokorpi ym. 2016, 106 - 107.)

Toiminnan kannalta parhaaseen lopputulokseen päästään, jos varaajan sisään saadaan aikaan lämpötilakerrostuneisuus. Helpoiten se onnistuu mahdollisimman korkeaan ja kapeaan varaajaan. Parhaaseen vuosituottoon aurinkolämpöjärjestelmissä päästään, kun kierukka asennetaan varaajassa alimmaiseksi. Lisäksi varaajassa oleva käyttöveden esilämmityskierukka lisää selvästi aurinkolämpöjärjestelmän tuottoa verrattuna yhteen lämminkäyttövesikierukkaan varaajan yläosassa. (Erkkilä 2003, 52.)

Suomessa olevat vesivaraajat ovat yleensä yhdistelmävaraajia. Käytännössä se tarkoittaa, että samalla varaajalla voidaan lämmittää sekä lämmintä käyttövettä että rakennuksen sisätiloja. Aurinkokeräimen kytkeminen yhdistelmävaraajaan parantaa lämpötilan kerrostumista ja lisää samalla keräimen käyttötunteja. Jos keräin liitetään pelkkään käyttövesivaraajaan, laskee se järjestelmän hyötysuhdetta, koska keräinten toimintalämpötila on suurimman osan ajasta lämpimän veden lämpötilatasolla tai jopa ylikin. Tästä syystä kannattaa valita tyhjiöputki-keräimet, kun käytetään aurinkokeräimiä vain lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. (Tahkokorpi ym. 2016, 107.)

7.3 Putkisto

Putkisto kuljettaa lämmönsiirtonesteen keräimestä lämmönvaihtimelle ja sieltä uudelleen keräimelle. Putkistossa kulkevan nesteen lämpötila vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Esimerkiksi talvella kovimpien pakkasten aikaan keräinten ja lämpimien tilojen välillä paikoillaan olevan nesteen lämpötila laskee -30 celsiusasteeseen. Tällaiset olosuhteet putkiston tulee kestää vuodesta toiseen. (Erkkilä 2003, 41.)

Putkiston materiaalina käytetään yleensä kuparia ja nykyisin myös ruostumattomaa terästä. Muovi ei sovellu putken materiaaliksi, sillä se ei kestä korkeita lämpötiloja. (Motiva Oy 2016e.) Putkiston lämpöeristys tulee toteuttaa mahdollisimman huolellisesti, koska huonosti eristetyin putkiston lämpöhäviöt ovat merkittävät (Erkkilä 2003, 42). Putkisto eristetään materiaalilla, joka kestävä korkeita lämpötiloja. Sopivia tähän tarkoitukseen ovat muun muassa hyvin lämpöä kestävät solumuovit ja mineraalivilla. (Motiva Oy 2016j.)

Putkistoon kuuluu myös ilmanpoiston järjestäminen keräimestä ja putkistosta. Ilmanpoistimen täytyy sijaita järjestelmän korkeimmalla kohdalla. Tälle kertyvälle ilmalle kannattaa varata riittävän iso säiliö. Jos ilmanpoistin on hankalassa paikassa, voidaan tyhjennyshana tuoda helpompaan paikkaan pienen putken avulla. (Erkkilä 2003, 42.)

7.4 Pumppuyksikkö

Pumppuyksikön tehtävänä on saada aikaan aurinkokeräimissä sopiva virtaus. Lisäksi se myös pitää järjestelmän paineen kaikissa tilanteissa suunnitellulla tasolla. Pumppuyksikössä olevien apulaitteiden avulla voidaan seurata järjestelmän tilaa ja toimintaa. Pumppuyksikkö koostuu kiertovesipumpusta, varoventtiilistä, paisunta-astiasta, yksisuuntaventtiilistä sekä paine- ja lämpömittarista. (Erkkilä 2003, 43.)

Valintakriteerit kiertovesipumpussa ovat samat kuin tavallisen pumpun valinnassa. Sitä varten tarvitsee tietää haluttu tilavuusvirta ja putkipiirin painehäviö. Pumpun tulee kestää lisäksi käytettävää kiertonestettä ja sen lämpötilanvaihteluita. (Erkkilä 2003, 44.)

Kaikissa suljetuissa putkistojärjestelmissä kuten aurinkojärjestelmissä on varoventtiili. Sen avautumispaine valitaan paisunta-astian maksimipaineen mukaan. Käyttöominaisuuksien kannalta 5 - 8 baaria on yleisesti optimaalisin valinta avautumispaineeksi. (Erkkilä 2003, 45.)

Paisunta-astian tehtävänä on vastaanottaa lämmönsiirtonesteen lämpötilan muutoksista johtuvat tilavuuden muutokset (Erkkilä 2003, 45). Sen valinnassa on huomioitava riittävän korkea rakennepaine, joka määräytyy järjestelmän varoventtiilin avautumispaineen perusteella. Paisunta-astian täytyy myös kestää järjestelmän ylikuumenemistilanteessa mahdollisen höyryn lämpötila. (Motiva Oy 2016j.)

Yksisuuntaventtiili estää nesteen kiertämisen järjestelmässä väärään suuntaan, kun pumppu ei käy. Ilman yksisuuntaventtiilin vaikutusta keräimet jäähtyisivät varaajaa tehokkaasti. (Erkkilä 2003, 45.)

Painemittari on pumppuyksikön yhteydessä oleva ja siitä voi todeta järjestelmän tilan. Painemittari on hyödyllinen etenkin järjestelmän alussa, kun järjestelmää täytetään ja sen toimintaa seurataan. Painemittarista voidaan myöhemmässä vaiheessa havaita myös mahdolliset vuodot. (Erkkilä 2003, 45.)

Lämpömittarit ovat lisävarusteita, mutta ainakin pienessä säätimiltään yksinkertaisessa järjestelmässä lämpömittarit ovat tarpeelliset. Mittarit asennetaan sekä keräimestä tulevaan että keräimestä lähtevään putkeen. Pumpun käydessä lämpötilaeron tulisi olla 2 - 10 °C astetta ja lisäksi keräimestä tulevan putken pitää olla lämpimämpi kuin keräimeen menevä putki. Lämpömittarin avulla voidaan tarkkailla näiden putkien lämpötilaeroa, jotta varmistutaan säätimen oikeasta toiminnasta ja pumpun sopivasta virtausnopeudesta. (Erkkilä 2003, 45 - 46.)

7.5 Ohjausyksikkö eli säädin

Aurinkolämpöjärjestelmää ohjaa automatiikka, joka käynnistää pumppuyksikön silloin, kun lämpötila keräimissä ylittää varaajan lämpötilan. Näin varmistetaan lämmön virtaaminen keräimistä varaajaan eikä päinvastoin. (Lindström 2008, 15.) Säätimeen kuuluu keskusyksikkö ja vähintään kaksi lämpötila-anturia, joista toinen on keräinanturi ja toinen varaaja-anturi. Anturit tulee asentaa huolellisesti, jotta ne näyttävät oikean asian lämpötilan. Keräimessä anturin pitäisi näyttää absorbaattorissa virtaavan nesteen lämpötilan. Varaaja-anturi näyttää sitä lämpötilaa, joka on lämmönvaihtimen korkeudella varaajassa. (Erkkilä 2003, 46.)

Käynnistyslämpötilaero on se lämpötilaero keräinanturin ja varaaja-anturin välillä, jossa pumppu käynnistyy, ja sen arvo on yleensä 5 - 15 °C. Matalampi käynnistyslämpötilaero tuottaa enemmän energiaa järjestelmässä. Kuitenkin pieni käynnistyslämpötilaero on aina hyvin herkkä virheelliselle toiminnalle, ja siksi kaikki asennukset tulee tehdä hyvin huolellisesti. (Erkkilä 2003, 46 - 47). Käynnistys- ja pysäytyslämpötilat eivät saa koskaan olla samoja, koska silloin pumppu käynnistyisi ja pysähtyisi jatkuvasti. Tavallisesti pysähtymislämpötilaero on 2 °C (Lindström 2008, 16). Käytännössä käynnistämisen ja pysähtymislämpötilan välillä on hyvä olla muutaman asteen ero (Erkkilä 2003, 47).

7.6 Lämmönvaihdin

Varaajassa olevan lämmönvaihtimen välityksellä saadaan auringonlämpö keräimistä siirrettyä hyötykäyttöön (Erkkilä 2003, 49). Lämmönvaihtimessa siirretään lämpöä aurinkopiirin nesteestä varaajaan eli lämpövaraston veteen ilman nesteiden sekoittumista keskenään (Lindström 2008, 21). Lämmönvaihtimen toiminnalla on suuri merkitys koko järjestelmän hyötysuhteeseen, sillä tehoton lämmönvaihdin päästää kiertonesteen takaisin keräimiin liian lämpimänä, jolloin niiden hyötysuhde heikkenee (Erkkilä 2003, 49).

8 Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus

Auringon lämpösäteilyä voidaan hyödyntää sekä tilojen että käyttöveden lämmitykseen. Aurinkolämpö sopii täydentäväksi lämmitysjärjestelmäksi päälämmitysjärjestelmän rinnalle, koska auringosta saatava energia painottuu kesäaikaan, ja aurinkolämpöjärjestelmällä ei pystytä tuottamaan talviaikoina tarvittavaa lämpö määrää. Koska aurinkolämmön tuotanto painottuu selvästi kesäaikaan, aurinkolämpö soveltuu erinomaisesti käyttöveden lämmitykseen, jonka tarve ei erityisemmin vaihtelee vuodenajan mukaan. Tästä syystä aurinkolämpöjärjestelmä onkin pääsääntöisesti optimaalisinta mitoittaa lämpimän käyttöveden tarpeen mukaan ja parhaiten soveltuvia rakennuksia ovat sellaiset, joissa lämmintä vettä käytetään paljon. (Pöyry Management Consulting Oy 2017, 45.)

8.1 Järjestelmän osien mitoitus

Keräimet mitoitetaan pääasiassa kesäajan lämmöntarpeen mukaan, joka käytännössä tarkoittaa lämpimän käyttöveden tarvetta. Jos keräimet mitoitetaan tuottamaan kesäkuukausien lämmöntarve kokonaan, saadaan aurinkoenergialla tuotettua 40 - 50 % kaikesta lämpimästä käyttövedestä vuoden aikana. Keräinten mitoittamisessa on kuitenkin hyvä muistaa se, että edullisimmat kilowatti-

tunnit saa järjestelmästä, joka ei parhaanakaan kesäpäivänä tuota kaikkea tarvittua energiaa. (Erkkilä 2003, 56.)

Varaaja mitoitetaan lämmöntarpeen mukaan (Erkkilä 2003, 56). Nyrkkisääntönä voidaan pitää varaajan olevan 2 - 3 kertaa suurempi kuin päivittäinen lämpimän käyttöveden tarve. Silloin lämmintä vettä saadaan riittämään myös pilvisiksi päiviksi ja kulutushuippuihin. (Lindström 2008, 25.) Varaajan mitoituksessa pitää lisäksi ottaa huomioon käytössä olevat tilat ja investointi. Varaajan valinnan yhteydessä on tarpeen suunnitella lämmönvaihtimen ja putkiyhteyden sijainnit, koska varaajalle on yleensä varattu rajallisesti tilaa. (Tahkokorpi ym. 2016, 114.)

Putkien mitoituksessa on tavoitteena saada aikaan laminaarinen läpivirtaus, jossa painehäviö ja pumpputeho pysyvät kohtuullisina. Laminaarinen virtaus estää suuren osan lämmön karkaamisesta. Virtaus ei kuitenkaan saa olla liian hidas, sillä lämmön siirtyminen aurinkokeräimestä lämmönvaihtimeen kestää silloin liian kauan. (Lindström 2008, 26.)

Pumpun mitoituksessa oleellisinta on, että se saa aikaan sopivan virtaaman suhteessa keräinpinta-alaan, jonka oletuksena voi pitää 30 - 60 kg/m² tunnissa. Useisiin kohteisiin sopivat normaalit kiertovesipumput, joiden keräinpinta-ala on 3 - 25 m². Pumppuyksikön paisunta-astia vaatii oman mitoituksensa, ja siinä mitoitus perusteena on se, että koko keräinten nestetilavuus mahtuisi paisunta-astiaan. (Erkkilä 2003, 57.) Lämmönvaihdin mitoitetaan täysin keräinpinta-alan mukaan, eli keräimet tuottavat tehon, jonka lämmönvaihdin siirtää (Erkkilä 2003, 57).

8.2 Aurinkolämpöjärjestelmän tuoton laskentamenetelmä

Ympäristöministeriön julkaisemalla aurinkolämmön tuotannon laskentaoppaalla vuodelta 2011 voidaan osoittaa aurinkolämpökeräimien avulla saatava käyttöveden lämmityksessä hyödynnettävä energiamäärä. Laskentamenetelmä pe-

rustuu EN standardiin SFS EN 15316-4-3:2007. (Aurinko-opas 2012 2011, 2, 7.)

Aurinkolämpöjärjestelmästä saatava tuotto kuukausitasolla voidaan laskea kaavalla 8.1 (Aurinko-opas 2012 2011, 11).

$$Q_{tuotto,A} = c_{tyyppi} (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{tarve,A} \quad (8.1)$$

jossa

$Q_{tuotto, A}$	=	Aurinkojärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla [kWh]
$Q_{tarve, A}$	=	Lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään [kWh]
C_{tyyppi}	=	Varaajatyypin korjauskerroin. Tässä kansallisessa laskentamenetelmässä käytetään aina $C_{tyyppi} = 1$.

a, b, c, d, e, f ovat myös varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia, joille tässä laskentamenetelmässä katettaville järjestelmille käytetään

a	=	1,029
b	=	-0,065
c	=	-0,245
d	=	0,0018
e	=	0,0215
f	=	0
X	=	Häviöt/tarve –suhde
Y	=	Tuotto/tarve –suhde

Dimensiottomat suureet X ja Y lasketaan kaavoista (8.2) ja (8.3).

$$X = \frac{A \cdot U_c \eta_{kierro} \Delta T \cdot t_h c_{cap}}{Q_{tarve,A}} \quad (8.2)$$

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot \eta_o \eta_{kierro} Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad (8.3)$$

jossa

A	=	Keräinten pinta-ala [m ²]
IAM	=	Keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin, jolle oletusarvoina yleisesti käytetään
IAM	=	1,0 kattamattomalle keräimelle,
IAM	=	0,94 lasikatteiselle tasokeräimelle,
IAM	=	0,97 tyhjiöputkikeräimille, joissa absorptiopinta on tasomainen,
IAM	=	1,0 tyhjiöputkikeräimille, joissa absorptiopinta on putkimainen.
Q _{keräin}	=	Auringon säteilyenergia aurinkokeräinten tasopinnalle tarkastelujaksolla, [Wh/m ² , kk].
η _{kierro}	=	Keräinpiirin hyötysuhde, jossa otetaan huomioon lämmönvaihtimen vaikutus sekä keräinpiirin lämpöhäviöt. Oletusarvona käytetään η _{kierro} = 0,8.
η _o	=	Käytettävää keräinpinta-alaa vastaava standardin SFS EN 12975-2 avulla saatu optinen hyötysuhde.
t _h	=	Tarkastelujakson pituus, kuukausi (kk).

Laskennassa tarvittava keräinpiirin lämpöhäviökerroin (U_c) lasketaan yhtälöllä 8.4. Lisäksi tarvitaan keräinpiirin putkiston (U_L) lämpöhäviökerroin ja se saadaan yhtälöstä 8.5. (Aurinko-opas 2012 2011, 12.)

$$U_c = a_1 + 40 a_2 + U_L/A \quad (8.4)$$

jossa

U _c	=	Keräinpiirin lämpöhäviökerroin [W/m ² K].
----------------	---	--

- a_1 = Keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin
standardin SFS EN 12975-2 mukaan. Jos kertoimille ei ole testattua arvoa, käytetään tyhjiöputkikeräimille $a_1 = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$, tasokeräimille $a_1 = 6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja lasiottamattomille keräimille $a_1 = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- a_2 = Keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan. Jos kertoimille ei ole testattua arvoa, käytetään kaikille keräintyypeille $a_2 = 0 \text{ W/m}^2\text{K}^2$.
- U_L = Keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin [W/K].
- A = Keräinten pinta-ala [m^2].

Mikäli keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerrointa ei ole saatavilla, lasketaan se kaavasta 8.5 (Aurinko-opas 2012 2011, 12).

$$U_L = 5 + 0,5 \cdot A \quad (8.5)$$

jossa

- U_L = Keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin [W/K].
- A = Keräinten pinta-ala [m^2].

Keräimen standardihäviöiden laskentaan tarvittava referenssilämpötilaero (ΔT) lasketaan yhtälöstä 8.6. Lisäksi yhtälössä tarvittava sovelluksesta ja varastotyy-pistä riippuva vertailulämpötila (θ_{ref}) saadaan yhtälöstä 8.7. (Aurinko-opas 2012 2011, 12 - 13.)

$$\Delta T = \theta_{\text{ref}} - \theta_e \quad (8.6)$$

jossa

ΔT	=	Referenssilämpötilaero [K].
θ_{ref}	=	Sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila [°C].
θ_e	=	tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila [°C].

Sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila saadaan yhtälöstä 8.7 laskettaessa pelkästään käyttöveden lämmityksen aurinko-osuutta (Aurinko-opas 2012 2011, 13).

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,180 * \theta_{hw} + 3,86 * \theta_{cw} - 1,32 * \theta_e \quad (8.7)$$

jossa

θ_{ref}	=	Sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila [°C].
θ_{hw}	=	Lämpimän käyttöveden minimilämpötila, käytetään $\theta_{hw} = 40$ °C.
θ_{cw}	=	Kylmän veden lämpötila, käytetään $\theta_{cw} = 5$ °C, mikäli kuukausittaista arvoa ei ole käytävissä.
θ_e	=	Tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila, saadaan rakentamismääräyskoelmasta D3.

Kun varaajan tilavuus poikkeaa referenssitilavuudesta (75 dm^3 / keräin-neliömetriä kohden), on aurinkojärjestelmän tuottoa määritettäessä dimensio-tonta muuttujaa X korjattava kertoimella c_{cap} , joka ottaa huomioon poikkeavan varaajakapasiteetin. Varaajan kapasiteetin korjauskerroin voidaan laskea yhtä-löstä 8.8. (Aurinko-opas 2012 2011, 13.)

$$c_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}} \right)^{-0,25} \quad (8.8)$$

jossa

C_{cap}	=	Varastokapasiteetin korjauskerroin.
V_{tod}	=	Varaajan suunniteltu ominaistilavuus [$\text{dm}^3/\text{keräin-m}^2$].
V_{ref}	=	Referenssitilavuus $75 \text{ dm}^3/\text{keräin-m}^2$.

Koska näissä laskelmissa aurinkolämpöä hyödynnetään vain käyttöveden lämmitykseen, sitä talteenotettava osuus järjestelmän häviöistä, mikä voitaisiin hyödyntää tilojen lämmitykseen, ei oteta huomioon.

8.3 Aurinkolämpöjärjestelmän apulaitteiden energiankulutus

Aurinkolämpöjärjestelmään kuuluvien apulaitteiden, esimerkiksi pumppujen sähköenergiankulutus saadaan laskettua yhtälöstä 9 (Aurinko-opas 2012 2011, 14).

$$W_{\text{aurinko,pumput}} = \sum (P_{\text{pumppu},i} * t_{\text{pumppu},i}) / 1000 \quad (8.9)$$

jossa

$W_{\text{aurinko,pumput}}$	=	Keräinpiirin pumppujen sähköenergiankulutus [kWh].
P_{pumppu}	=	Yksittäisen pumpun i teho [kW].
$t_{\text{pumppu},i}$	=	pumpun i käyttöaika [h].

Jos pumpuista ei ole yksityiskohtaisia tietoja, voidaan pumpun tehon suunniteluarvo laskea yhtälöstä 8.10. Vaihtoehtoisesti voidaan myös pumpun käyttöajan arvona käyttää 2 000 tuntia vuodessa. (Aurinko-opas 2012 2011, 14.)

$$P = (50 + 5 * A_{\text{aurinkokeräin}}) / 1000 \quad (8.10)$$

jossa

P	=	Pumpun teho [kW].
-----	---	-------------------

$$A_{\text{aurinkokeräin}} = \text{Kiertopiirin kytkettyjen keräimien pinta-ala} \\ [\text{m}^2].$$

8.4 Aurinkokeräinten sijoitus ja suuntaus

Aurinkokeräin toimii parhaiten, kun auringon säteily pääsee paistamaan mahdollisimman esteettömästi keräimeen koko päivän ajan. Keräimiä ei siis pidä asentaa varjoisaan paikkaan. Tuuli on otettava myös huomioon keräinten sijoituksessa, ja erityisesti keräimet pitäisi olla suojattu pohjoisen kylmiltä tuuilta, sillä ne viilentävät keräimiä ja lisäävät häviöitä. Useimmiten varjoton ja lämmin paikka löytyy rakennuksen katolta. Puiden varjot harvoin yltävät katolle, vaikka rakennuksen pihalle ne muodostaisivatkin varjoja. Aurinkokeräinten sijoituksessa on tärkeää ottaa huomioon myös niiden etäisyys varaajasta, sillä mitä suurempi etäisyys on, sitä suuremmat ovat siirtohäviöt. (Tahkokorpi ym. 2016, 97 - 98.)

Aurinkokeräinten sijoittamiseen vaikuttaa kaksi tekijää: suuntakulma ja kallistuskulma. Paras asennussuunta on etelä ja paras kallistuskulma riippuu käyttökohteesta. Paras kallistuskulma on 45° , jos halutaan maksimoida koko vuoden tuotto. Jos taas halutaan saada mahdollisimman suuri tuotto kesällä, riittää loivempi kulma. Käytännössä parhaaseen lopputulokseen päästään, kun keräimet asennetaan rakennuksen katon suuntaisesti. Tällöin asennus tulee halvemmaksi, ja se on esteettisempää kuin käyttää monimutkaisia keräintelineitä ja tukirakenteita. (Erat ym. 2001, 82.) Huomionarvoista mietittäessä kallistuskulmaa ovat myös Suomen talviset olosuhteet lumisateineen ja jäätymisineen. Mahdollisuuksien mukaan kannattaa keräimet asentaa sellaiseen kulmaan, että lumi ei kunnolla pysy niissä, tai paikkaan jossa niiden putsaaminen on helppoa. (Tahkokorpi ym. 2016, 99.)

9 Aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuus

9.1 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus

Aurinkosähköjärjestelmän hinta muodostuu pääasiassa järjestelmän investointikustannuksista ja asennuksesta (Erat ym. 2008, 164). Hankinnan ja asennuksen jälkeen järjestelmä tuottaa käytännössä lähes ilmaista sähköä, sillä muuttuvia kustannuksia ei aiheudu polttoaineen hankinnasta tai järjestelmän huollosta. Kustannuksia voi tulla mahdollisten rikkoontuneiden osien korjaamisesta, mikä on kuitenkin epätodennäköistä, sekä tapauksesta riippuen paneelien puhdistuksesta. (Tahkokorpi ym. 2016, 187 - 188.)

Aurinkosähkön taloudellisen hyödyntämisen kannalta on tärkeää, että energian kulutus ja tuotanto ajoittuvat samaan aikaan, sillä aurinkosähkön varastointi nostaa sen hinnan noin kaksinkertaiseksi (Erat ym. 2008, 162).

9.2 Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus

Aurinkoenergian taloudellisen hyödyntämisen lähtökohtana voidaan pitää energian kulutuksen ja tuoton kohtaamista. Aurinkolämmön kannalta on ongelmallista, että lämpöenergian kulutushuiput ovat talvella, kun auringonsäteily on vähäistä. (Erat ym. 2008, 162.)

Aurinkolämpöjärjestelmän hinta muodostuu pääasiallisesti keruu- ja varastointijärjestelmän investointikustannuksista. Kustannuksia tulee lisäksi järjestelmän ylläpidosta, lämmönsiirtonesteen pumppaukseen tarvittavasta sähköstä ja noin kymmenen vuoden välein vaihdettavasta lämmönsiirtonesteestä. (Tahkokorpi ym. 2016, 187 - 188.) Aurinkolämmön hintatarkastelussa otetaan huomioon vuosittaisina huoltokuluina 1 - 2 % järjestelmän investointikustannuksesta (Erat ym. 2008, 165).

9.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika lasketaan diskonttaamalla nykypäivään investoinnin vuosittaiset positiiviset ja negatiiviset kassavirrat. Jos positiiviset kassavirrat ovat suuremmat kuin negatiiviset, voidaan hankkeelle laskea takaisinmaksuaika. (Tahkokorpi ym. 2016, 188.)

Takaisinmaksuajan menetelmä ei ota huomioon investoinnin takaisinmaksuajan jälkeisiä tuottoja. Menetelmän mukaan on kannattavaa suorittaa ne investoinnit, jotka maksavat itsensä nopeasti takaisin. (Paavola 2012).

Laskentatavan ongelmana on se, että takaisinmaksuajan selvittämiseksi tulisi tietää sähkön tai lämpöenergian arvo seuraavan 30 vuoden ajalta. Niiden hintamuutoksia on kuitenkin mahdotonta ennustaa. (Tahkokorpi ym. 2016, 188.)

9.4 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmää käytettäessä investoinnin tuotot ja kustannukset diskontataan valitulla laskentakorkokannalla nykyhetkeen. Jos nykyarvojen erotus on positiivinen, investointi on kannattava. Silloin investoinnista syntyvien nettotuottojen nykyarvo on suurempi kuin sen hankintakustannukset. (Neilimo ym. 2007, 218.)

9.5 Sisäinen korkokanta

Sisäinen korkokanta tarkoittaa korkokantaa, jolla laskettuna investoinnin nettonykyarvo on nolla, eli sen nettotuottojen nykyarvo on yhtä suuri kuin sen perushankintameno. Investointi on edullinen, jos sen sisäinen korkokanta on vähintään yhtä suuri kuin tavoitteena oleva pääoman tuottoprosentti. (Neilimo ym. 2007, 221.)

Sisäistä korkokantaa voidaan laskennallisesti pitää investoinnin tuotto prosenttina ja sen avulla aurinkoenergiainvestointia voidaan verrata muihin kilpaileviin investointeihin (Tahkokorpi ym. 2016, 188).

9.6 Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysin avulla tutkitaan, kuinka investoinnin kannattavuus muuttuu, jos yhtä tai useampaa tekijää muutetaan. Jokaisen muutoksen jälkeen tutkitaan, millainen vaikutus muutoksella on lopputulokseen. Herkkyysanalyysin avulla saadaan selville ne komponentit, jotka vaikuttavat investoinnin kannattavuuteen eniten. (Neilimo ym. 2007, 225.)

10 Aiemmat tutkimukset

Aurinkosähköjärjestelmien mitoituksia päivittäistavarakaupoille on toteutettu aiemminkin. Tutkimusten tuloksia ei voi suoraan verrata keskenään, sillä kohteiden erilaiset sähkönkulutusmäärät ja auringon säteilytiedot vaikuttavat mitoitettavien järjestelmien kokoluokkiin ja näin ollen niiden kannattavuuksiin.

Mikko Nääppä (2017) on opinnäytetyössään mitoittanut aurinkosähköjärjestelmän K-Supermarket -myymälään. Aurinkosähköjärjestelmä oli mitoitettu kohteen sähkönkulutuksen ja kattopinta-alan perusteella. Kohteelle mitoitettiin ja asennettiin 53 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmä.

Mika Pirhonen (2017) on opinnäytetyössään mitoittanut aurinkosähköjärjestelmän ja tarkastellut sen kannattavuutta S-Market Siilaisessa. Aurinkosähköjärjestelmä mitoitettiin kiinteistön pohjakulutuksen mukaan, ja sen kooksi saatiin 75,2 kW_p. Tutkimus osoitti, että päivittäistavarakauppa on hyvä kohde aurinkosähköjärjestelmälle, sillä sekä kohteen sähkön kulutus että aurinkosähkön tuotanto ajoittuvat päiväaikaan. Aurinkosähköjärjestelmään investoiminen on kohteessa kannattavaa, mikäli siihen saadaan investointituki.

Aurinkolämpöjärjestelmien osalta vastaavia tutkimuskohteita oli vaikeampaa löytää. Aurinkolämmön hyödyntämistä oli useimmiten tutkittu omakotitalojen lämpimän käyttöveden lämmityksessä.

11 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuskohde

11.1 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyömme on teknistaloudellinen selvitys, jossa hyödynnettiin kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Työssä vertailtiin erilaisia mitoitus- ja investointivaihtoehtoja tilastollisin menetelmin. Työssä pyrittiin tarkkuuteen ja luotettavuuteen.

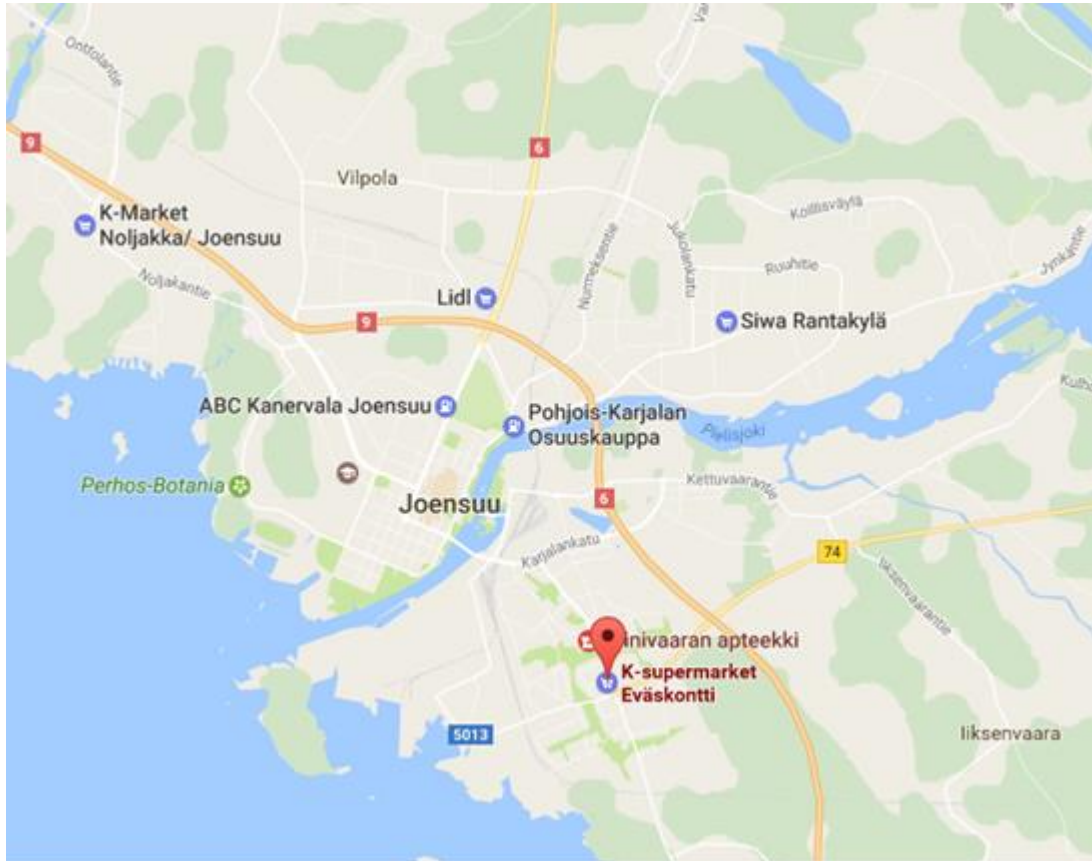
Työssä hyödynnettiin kirjallista ja Internet-aineistoa sekä opinnäytetöitä ja luentomateriaalia aurinkosähkön ja aurinkolämmön tuotannosta ja kannattavuudesta. Tietoja aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmistä saatiin myös järjestelmien toimittajilta. Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa hyödynnettiin kiinteistön tuntikohtaisia sähkönkulutustietoja, jotka saatiin Carunalta. Aurinkolämpöjärjestelmän mitoituksessa hyödynnettiin kiinteistön käyttöveden kulutustietoja, jotka saatiin Joensuun Vedeltä. Kannattavuuslaskelmissa käytettiin Fortumin kaukolämmön hintatietoja ja toimeksiantajalta saatuja tietoja.

Tutkimus toteutettiin valmiiden laskentakaavojen, laskureiden ja mitoitushjelmien pohjalta. Auringon säteilyn tuoton laskennassa hyödynnettiin PVGIS-laskuria. Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa käytettiin PV-Simulaatio 3D -ohjelmaa. Aurinkolämpöjärjestelmän mitoituksessa käytettiin Thermal Simulation Software T*SOL -ohjelmaa.

Investointilaskelmat perustuivat jälleenmyyjien antamiin hintatietoihin. Kannattavuuslaskelmat toteutettiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Opinnäytetyö kirjoitettiin Microsoft Word -tekstinkäsittelyohjelmalla.

11.2 Tutkimuskohde

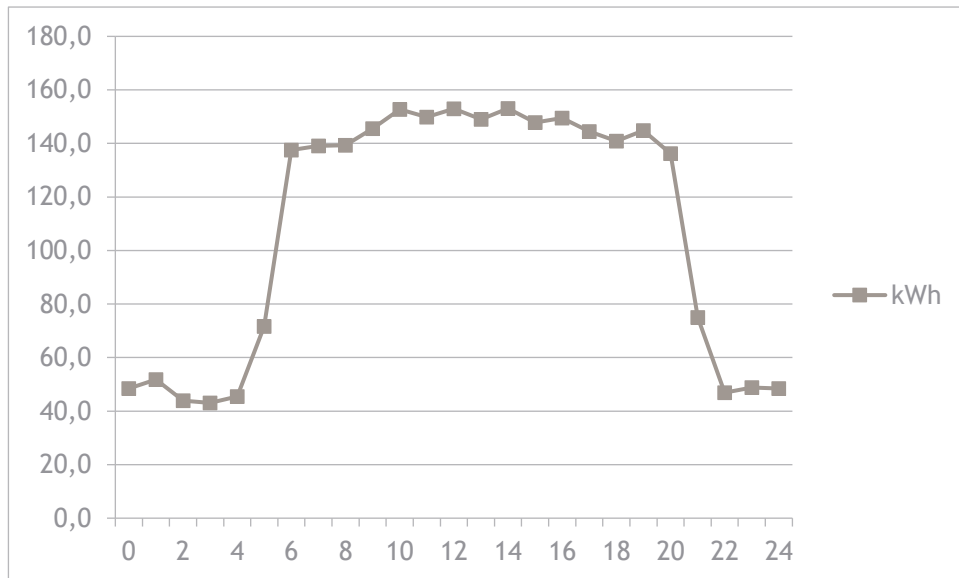
K-Supermarket Eväskontin kiinteistö on rakennettu 1970-luvulla ja sitä on laajennettu 1980-luvulla. Kiinteistö siirtyi syyskuussa 2016 K-kauppiaiden Marko ja Anu Kosusen hallintaan, kun he aloittivat Eväskontin kauppiaina. Kiinteistö sijaitsee Joensuun Niinivaaralla (kuva 6).



Kuva 6. K-Supermarket Eväskontin sijainti kartalla (Kuva: Google Maps).

11.2.1 Mitoitettavan kiinteistön sähkönkulutus

Mitoituslaskuissa käytettiin Eväskontin tuntikohtaisia sähkönkulutustietoja ajalta 1.9.2015 - 31.8.2016. Kokonaissähkönkulutus vuoden aikana oli noin 858 megawattituntia. Loppuvuoden 2016 ja alkuvuoden 2017 aikana kauppiaat vaihdattivat kiinteistöön loisteputkien tilalle LED-lamput, joiden avulla sähkönkulutus hieman pienenee aikaisemmasta. Sähköä kuluu kiinteistössä eniten päivällä (kuvio 1), jolloin myös aurinkopaneelit tuottavat parhaiten.



Kuvio 1. K-Supermarket Eväskontin heinäkuun 2016 keskimääräinen tunti-kohtainen sähkönkulutus.

Sähkönkulutuksen lisäksi toinen tärkeä asia aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen kannalta on kiinteistön kattopinta-ala. Kohteessa on sekä peltistä harjakattoa että bitumivuorattua tasakattoa. Toimeksiantajan toiveesta mitoituksessa hyödynnettiin vain tasakattoa. Kuvasta 7 havaittava, punaisella rajattu alue, sopi rakennusteknillisesti parhaiten aurinkosähköjärjestelmän asennuspaikaksi. Katto-osuuden pinta-ala on 329 m².



Kuva 7. Paneeleille varattu katto-osuus (Kuva: Juha Kilpeläinen).

11.2.2 Mitoitettavan kiinteistön lämpimän käyttöveden kulutus

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus tehtiin kiinteistön lämpimän käyttöveden kulutuksen mukaan. Kiinteistön lämpimän käyttöveden kulutus ei juurikaan vaihtelee vuorokausitasolla eikä vuodenajan mukaan. Kiinteistön lämpimän käyttöveden kulutustietoja ei ollut suoraan saatavilla, joten ensin selvitettiin Joensuun vedeltä kiinteistön kokonaisvedenkulutus. Vuorokausikulutus kohteessa oli 2,15 m³ eli 2 150 litraa (Ipatti-Pöllänen 2017). Tämän jälkeen oli selvittävä lämpimän käyttöveden osuus kokonaisvedenkulutuksesta.

Lämpimän käyttöveden osuuden selvittämiseksi oltiin yhteydessä Itä-Suomen Keskon päivittäistavarakaupan kauppapaikkapäällikköön. Heidän kiinteistöpäällikön arvio keskimääräiselle lämpimän käyttöveden osuudelle oli noin 18 % kokonaiskäyttöveden kulutuksesta (Kohonen 2017). Lämpimän käyttöveden kulutus kiinteistössä on näin ollen 387 l/vrk. Tämä ei ole kiinteistön todellinen lämpimän käyttöveden osuus, mutta mahdollisimman tarkka arvio siitä.

11.2.3 Varjostukset

Kuvasta 8 selviää huopakattoa korkeamman harjakaton aiheuttama varjostus huopakatolle. Lännen puolelta harjakaton korkeus on 45 cm ja idän puolelta 2,3 m. Lisäksi peltinen harjakatto paneeleille varatun alueen itäpuolella sijaitsee pari metriä huopakattoa korkeammalla. Katon läntisellä puolella kasvavat puut aiheuttavat jonkin verran varjostuksia aurinkopaneeleille.

Paneeleille varatun katto-osuuden pinta-alaksi mitattiin 329 m², mutta varjostuksista johtuen paneelipinta-alaksi jää 142 m².



Kuva 8. Harjakaton aiheuttama varjostus huopakatolle (Kuva: Juha Kilpeläinen).

Kuvasta 9 havaitaan aurinkokeräinten sijoittelu katolle. Koska keräinten pinta-ala on vain 18 m², saatiin keräimet sijoitettua katolle niin, ettei varjostuksia aiheudu tai ne voidaan minimoida.



Kuva 9. Aurinkokeräinten sijoittelualue katolla (Kuva: Juha Kilpeläinen).

12 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus kohteeseen

12.1 Tarjoukset

Työhön pyydettiin tarjouksia useilta Joensuuhun aurinkosähköjärjestelmiä toimittavilta yrityksiltä. Tarjoukset saatiin Sähkö Holkilta ja Joensuun Telemaailma Oy:ltä (taulukko 5).

Tarjouksiin sisältyi aurinkosähköpaneelit, asennustelineet, invertteri, liittimet, kaapelit, turvakytin, sähkötarvikkeet ja asennus. Sähkö Holkin tarjouksessa käytettiin SolarXonin 270 Wp:n monikidepaneeleita ja Fronius Internationalin invertteriä. SolarXon tarjoaa paneeleilleen 10 vuoden takuun ja 25 vuoden tehon- tuottotakuun. Tarjous tehtiin ilman käyntiä asennuskohteella.

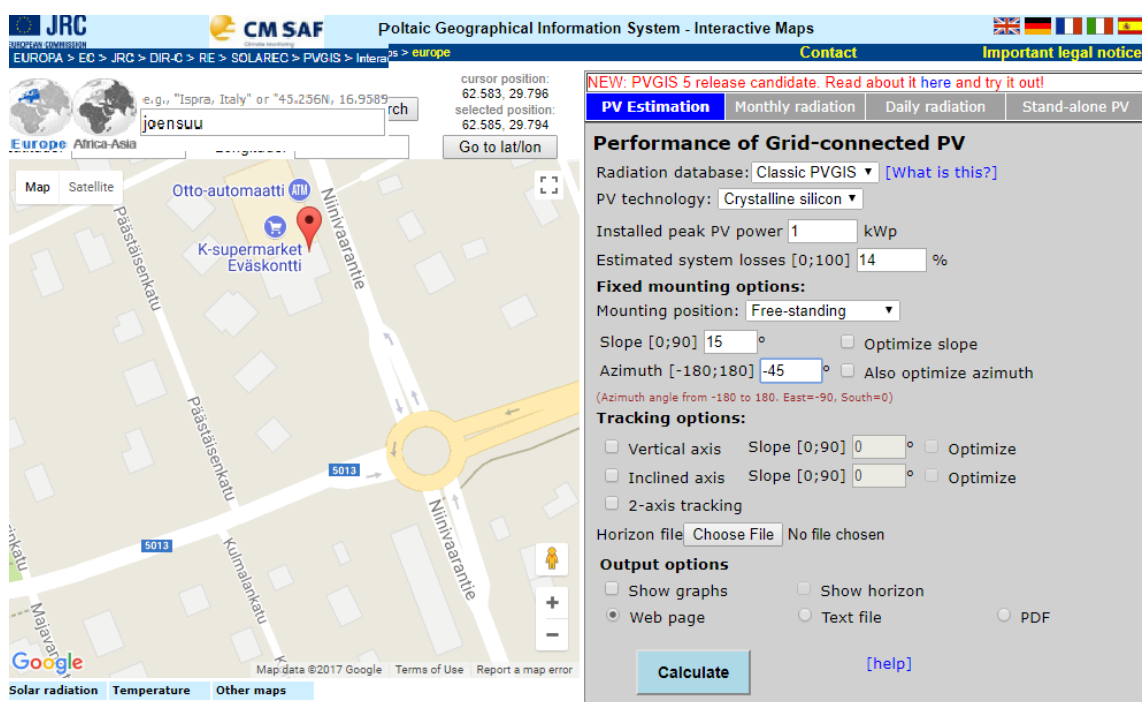
Joensuun Telemaailma Oy:n tarjouksessa käytettiin kiinalaisen Trina Solarin monikidepaneeleita sekä vaihtoehtoisesti suomalaisen Valoe Chromen paneeleita. Molemmissa tarjouksissa oli käytössä sama Froniuksen invertteri, jonka takuu on laajennettavissa seitsemään vuoteen. Järjestelmän toimitusaika on kolme viikkoa tilauksesta.

Taulukko 5. Tarjouksissa käytetyt aurinkopaneelimerkit ja -mallit sekä 20 kW_p:n järjestelmien hinnat asennettuina näitä paneeleja käyttäen.

Paneeli	20 kW _p :n järjestelmä asennettuna alv 0 %
Solarxon 270 W monikidepaneeli	19 758 €
Trina Solar 270 W monikidepaneeli	22 900 €
suomalainen Valoe Chrome -paneeli	26 900 €

12.2 Alustavat mitoitukset

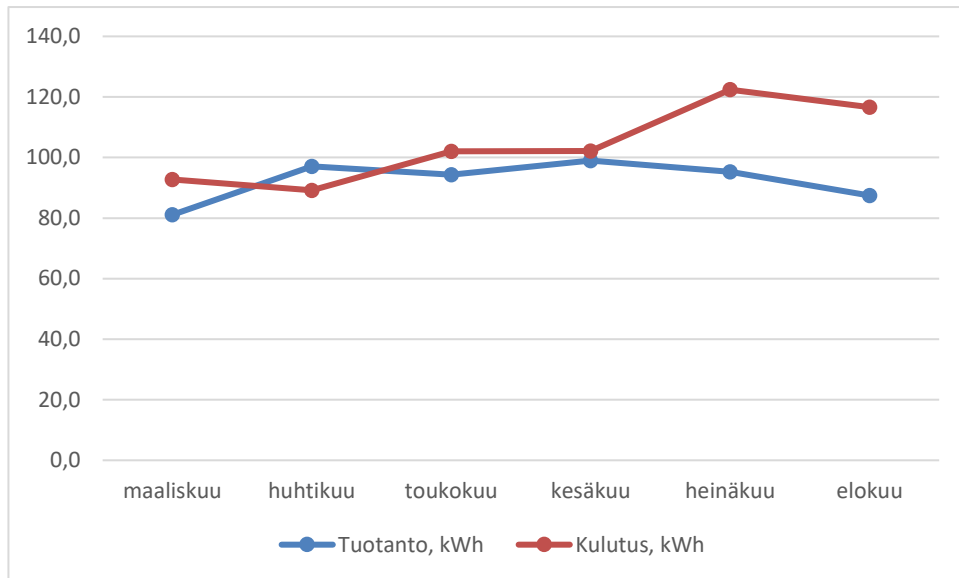
Aurinkosähkölaitteiston alustava mitoitus tehtiin ympäristöministeriön Aurinko-oppaan kaavoilla ja Microsoft Excel -ohjelmalla. Auringon kuukausittaiset säteilymäärät otettiin PVGIS-laskurista (kuva 10). Laskurissa käytettiin paneelien kulmana 15 astetta ja suuntana -45 astetta eli paneelit asennettaisiin kaakkoon päin. Paneelien kulma ja suuntaus valittiin sillä perusteella, että katolle mahtuisi mahdollisimman paljon paneeleita.



Kuva 10. PVGIS-ohjelmalla valittu sijainti ja paneelin kallistus- ja suuntakulmat.

Säteilymäärien avulla saatiin selville paneelien tuottama energiamäärä, josta laskettiin paneelien tuotto jokaiselle päivälle jakamalla kuukausittainen tuotto kunkin kuukauden päivillä. Kun näitä tietoja verrattiin touko-heinäkuun minimisähkönkulutustietoihin, voitiin mitoittaa kohteelle optimaalisin aurinkosähkölaitteisto.

Kuviosta 2 havaitaan, että ympäristöministeriön kaavoilla mitoitettuna 200 Kw_p:n järjestelmä kattaisi kesäaikana tuntikohtaisen sähkönkulutuksen, mutta ei tuottaisi merkittävästi ylituotantoa.

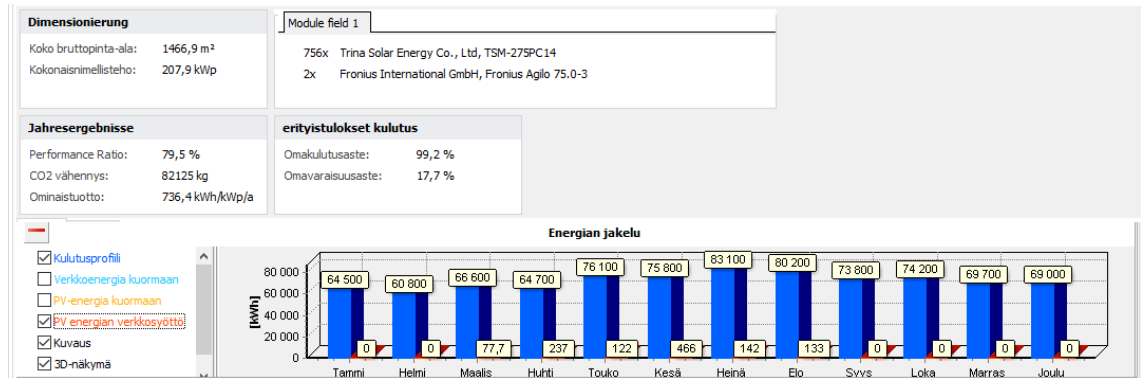


Kuvio 2. K-Supermarket Eväskontin minimisähkönkulutus kesäaikana ja sähköntuotanto 200 kW_p:n aurinkosähköljärjestelmällä.

Seuraavaksi aurinkosähköljärjestelmä mitoitettiin alustavasti PV-Simulaatio 3D -ohjelmalla. Ohjelmassa valittiin sijaintitiedoksi Joensuu, ja siihen syötettiin Eväskontin tuntikohtaiset sähkönkulutustiedot. Paneeleiksi valittiin ohjelmasta löytyvät, SolarWorksin tarjouksessa käytetyt Trina Solarin 275 W:n paneelit. Paneeleiden kallistuskulmaksi valittiin 15 astetta, ja suuntaukseksi kaakko eli 135 astetta.

Näillä tiedoilla järjestelmän omakulutusasteeksi saatiin 99,1 %. Omakulutusasteen on hyvä olla mahdollisimman lähellä 100 % :a, sillä näin mahdollisimman suuri osa tuotetusta sähköstä kuluu omassa käytössä. Tällöin aurinkosähköllä korvataan maksimaalisesti ostosähköä, eli aurinkosähköstä saatava voitto on suurimmillaan. Omavaraisuusaste oli simuloinnissa 17,7 %, eli tämän verran kohteen kokonaissähkönkulutuksesta saadaan katettua aurinkosähköllä.

PV-Simulaatio 3D -ohjelma antaa näillä tiedoilla järjestelmän nimellistehoksi 207,9 kW_p. Järjestelmä tuottaisi sähköä 153 MWh vuodessa (kuva 11).



Kuva 11. Minimisähkökulutuksen perusteella mitoitettu aurinkosähköjärjestelmä PV-Simulaatio 3D -ohjelmalla.

12.3 Lopullinen mitoitus PV-Simulaatio 3D -ohjelmalla

Aurinkosähköjärjestelmän lopullinen mitoitus toteutettiin PV-Simulaatio 3D -ohjelmalla.

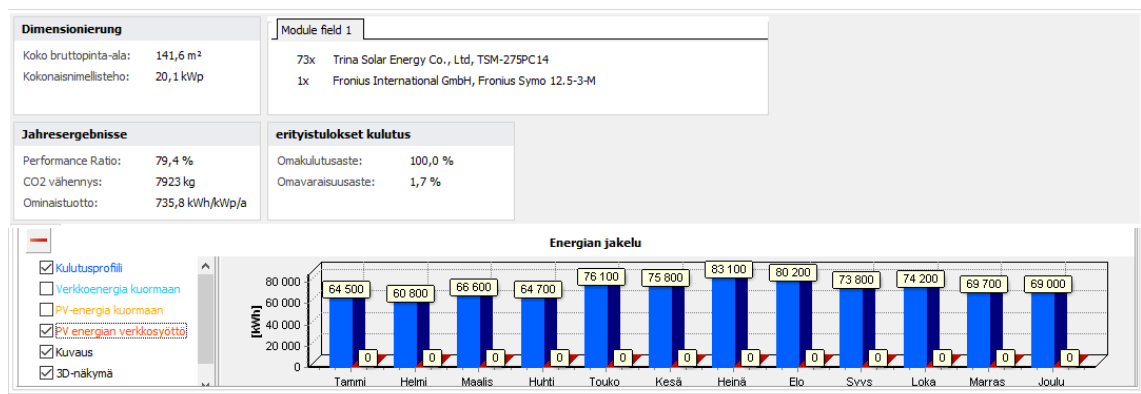
K-Supermarket Eväskontin aurinkosähköjärjestelmän mitoitus aloitettiin mitoittamalla järjestelmä kohteen touko-heinäkuun minimikulutusten perusteella. Minimikulutuksen pohjalta mitoitettu aurinkosähköjärjestelmä olisi vaatinut pinta-alaa 1 467 m². Tästä syystä mitoituksessa päädyttiin pinta-alan perustuvaan mitoitukseen, jolloin valittiin suurin mahdollinen järjestelmä, joka käytettävissä olevalle kattopinta-alalle saatiin sijoitettua.

Paneeleille varatun katto-osuuden pinta-alaksi mitattiin 259 m². Ohjelmaan syötettiin Eväskontin tuntikohtaiset sähkökulutustiedot vuoden ajalta. Sijainniksi valittiin Joensuu.

Kallistuskulmana käytettiin edelleen 15 astetta, jotta paneeleita saatiin sijoitettua katolle mahdollisimman monta. Mitä pienempi kallistuskulma paneeleilla on, sitä vähemmän ne varjostavat toisiaan. Alle 15 asteen kallistuskulmaa ei kuitenkaan kannata käyttää, sillä se lisää lumen ja lian kertymistä paneelien pintaan.

Paneelit asennettaisiin katon suuntaisesti kaakkoa kohti, jolloin niitä saadaan mahtumaan eniten, lähes yhtä hyvällä sähköntuotolla kuin etelään päin suunnatuilla paneeleilla.

Lopullisessa mitoituksessa haluttiin käyttää tarjouksissa ilmoitettuja paneeli-merkkejä, -määriä ja inverttereitä. SähköHolkin tarjouksessaan käyttämiä SolarXonin tai Solarworksin suomalaisia Valoe Chrome -paneeleita ei löytynyt ohjelmistosta, joten simuloinnista olisi tullut epätarkempi. Tästä syystä simulointi tehtiin Solarworksin tarjouksessa käytetyillä Trina Solarin 275 W:n monikidepaneeleilla.



Kuva 12. Lopullinen mitoitus PV-Simulaatio 3D -ohjelmalla.

Kun käytettävissä oleva kattopinta-ala on näin pieni, järjestelmän nimellistehoksi saatiin 20,1 kW_p (kuva 12). Järjestelmä tuottaisi sähköä vuodessa 14 megawattituntia. Se jää noin 10 kertaa pienemmäksi kuin kesäaikaisen minimisähkönkulutuksen pohjalta mitoitettu järjestelmä. Omakulutusaste on 100 %, koska kaikki aurinkosähkö menee omaan käyttöön. Omavaraisuusaste on kuitenkin vain 1,7 %, eli järjestelmä on huomattavasti alimitoitettu.

13 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus kohteessa

13.1 Investointituet

Innovaatorahoituskeskus Tekes myöntää yrityksille energiatukea investointihankkeisiin, jotka esimerkiksi edistävät uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä. Aurinkosähköhankkeiden investointituki vuonna 2017 on 25 % investoinnista, kun investointi on vähintään 10 000 euroa. Energiatukea haetaan Tekesin verkkosivuilta, ja se on aina harkinnanvaraista. Tukea on haettava ennen rakennustyön aloittamista. (Tekes 2017.) Taulukosta 6 nähdään saatujen tarjousten hinnat investointituki huomioiden.

Taulukko 6. Tarjousten lopulliset hinnat.

Tarjous	Hinta investointituki huomioiden
Solarxon 270 W monikidepaneeli	14 818,50 €
Trina Solar 270 W monikidepaneeli	17 175 €
suomalainen Valoe Chrome -paneeli	20 175 €

13.2 Investointilaskelmien lähtötietoja

Investoinnin käyttöajaksi valittiin kannattavuuslaskelmissa 30 vuotta, sillä paneelin tekninen käyttöikä voi olla yli 40 vuotta, mutta niiden tuotantotakuu on yleensä 25 vuotta (Käpylehto 2016, 61). Aurinkosähköjärjestelmän tuotantoteho laskee noin 0,5 % vuodessa (Käpylehto 2016, 110).

Finsolarin aurinkosähkön kannattavuuslaskurissa käytetään rahoituksen korkona 1 % ja investoinnin tuottovaatimuksena 2 %, jolloin laskelman korkokannaksi tulee 3 % (Finsolar 2017). Tätä 3 %:n korkokantaa käytettiin myös tässä työssä investoinnin korkokantana. Takaisinmaksuaika-kappaleessa käsitellään tarkemmin korkokannan vaikutusta tuloksiin.

Sähkön hintatietoina käytettiin toimeksiantajan antamia sähkön hintoja heinäkuussa, elokuussa ja syyskuussa 2017. Hinnat laskettiin arvonlisäverottomina. Sähköenergian hinnaksi kolmen kuukauden keskiarvona saatiin 3,92 snt/kWh (taulukko 7). Sähköenergian hintaan lisättiin sähkönsiirtomaksu. Sähköveron osuus on 2,253 snt/kWh veroluokassa 1 (vm.fi/energiaverotus).

Taulukko 7. K-Supermarket Eväskontin sähköenergian hintatiedot heinäkuussa 2017 - syyskuussa 2017.

Kuukausi	Sähköenergian hinta, snt/kWh alv 0 %
Heinäkuu	3,64
Elokuu	3,87
Syyskuu	4,25

Sähkön hintakehitystä on vaikea arvioida, mutta viimeisten 10 vuoden aikana sähkön hinta on noussut muutaman prosentin vuodessa (Käpylehto 2016, 94). Työssä sähkön kokonaishinnannousuksi asetettiin 4 % vuodessa. Oletus mukaillee viimeisen 10 vuoden historiaa (Käpylehto 2016, 103).

Aurinkosähköjärjestelmä ei aiheuta huoltokustannuksia, sillä se on melko huoltovapaa. Lumen voi talvella harjata paneelin päältä varovasti pehmeäharjaksella harjalla. Pölyt voi keväisin ja syksyisin pyyhkiä pehmeällä pyyhkeellä ja vedellä tai miedolla pesuaineliuksella. Aurinkopaneelin päälle ei saisi kertyä likaa, sillä se heikentää paneelin toimintaa. (Aurinkopaneeli - kaikki tieto aurinkopaneeleista.)

Invertterin elinikä Suomessa on todennäköisesti yli 20 vuotta, mutta kustannuslaskelmissa kannattaa varautua siihen, että invertteri joudutaan vaihtamaan keran järjestelmän eliniän aikana (Tahkokorpi ym. 2016, 142). Kannattavuuslaskelmissa otettiin huomioon invertterin uusiminen järjestelmän viidentenätoista käyttövuotena. Invertterin uusimisen kustannukset olisivat vuonna 2017 noin 2500 € (Pykäläinen 2017). Työssä laskettiin invertterin hinta 15 vuoden päästä ajatellen, että inflaatio kasvaa 2,5 % vuodessa. Saatu hinta diskontattiin 3 %:n laskentakorolla vuodelle 15.

13.3 Nykyarvomenetelmä

Taulukko 8. Nykyarvolaskelmien tulokset.

	Nykyarvo, €
Solarxon 270 W monikidepaneeli	23 709
Trina Solar 270 W monikidepaneeli	21 353
suomalainen Valoe Chrome -paneeli	18 353

Tulevien vuosien nettotuotot diskontattiin 3 %:n korkokannalla nykyhetkeen. Investointien jäännösarvona oli 0 %. Nettotuottojen summasta vähennettiin hankintakustannus, jolloin saatiin tietää investointien tuottojen ja kustannusten nykyarvojen erotukset.

Taulukosta 8 nähdään nykyarvolaskelmien tulokset eri paneeleilla. Nykyarvomenetelmällä kaikki investoinnit ovat kannattavia. Investoinneista kannattavin on se, jonka nykyarvo on suurin.

13.4 Sisäinen korkokanta

Sisäinen korkokanta tarkoittaa korkokantaa, jolla laskettuna investoinnin nettotuottojen nykyarvo on yhtä suuri kuin sen perushankintameno. Mitä suurempi sisäinen korkokanta on, sitä parempi on investointi.

Taulukko 9. Investointien sisäisen korkokannan tulokset.

	Sisäinen korkokanta
Solarxon 270 W monikidepaneeli	10,8 %
Trina Solar 270 W monikidepaneeli	9,3 %
suomalainen Valoe Chrome -paneeli	7,8 %

Taulukosta 9 nähdään, että halvemmilla Solarxonin ja Trina Solarin järjestelmillä päästään noin 10 prosentin tuottoihin. Kaikkien järjestelmien kohdalla tulosta voidaan pitää hyvänä tuottona investoinnille.

13.5 Takaisinmaksuaika

Taulukko 10. Koroton takaisinmaksuaika

	Takaisinmaksuaika [a]
Solarxon 270 W monikidepaneeli	11,3
Trina Solar 270 W monikidepaneeli	13,1
suomalainen Valoe Chrome paneeli	15,4

Taulukko 11. Korollinen takaisinmaksuaika, kun korkokanta on 3 %.

	Takaisinmaksuaika [a]
Solarxon 270 W monikidepaneeli	11,4
Trina Solar 270 W monikidepaneeli	13,1
suomalainen Valoe Chrome paneeli	17,0

Toimeksiantajan toiveena oli, että investoinnilla olisi 5 vuoden takaisinmaksuaika. Tähän tavoitteeseen ei päästy, vaan investointien takaisinmaksuajat olivat korottomina 11-15 vuotta (taulukko 10) ja korollisina 11-17 vuotta (taulukko 11). Investoinnit siis maksoivat itsensä takaisin yli kymmenen vuotta ennen niiden käyttöajan loppua.

Työssä tehtiin herkkyyssanalyysyjä tarkastelemalla yhden lähtöarvon muuttamisen vaikutusta korolliseen takaisinmaksuaikaan.

Korolliseen takaisinmaksuaikaan vaikuttaa korkokannan suuruus. Korkokanta ottaa huomioon muun muassa inflaation, mahdollisen lainan korkotuottovaatimuksen sekä investoinnin tuotto-odotuksen. Työssä tarkasteltiin aurinkosähköjärjestelmien korollisia takaisinmaksuaikoja eri laskentakorkokannoilla.

Taulukko 12. Aurinkosähköjärjestelmien korolliset takaisinmaksuajat eri korkokannoilla.

Korkokanta	Aurinkosähköjärjestelmä	Takaisinmaksuaika [a]
3 %	Solarxon	11,4
	Trina Solar	13,1
	Valoe Chrome	17,0
5 %	Solarxon	13,0
	Trina Solar	17,0
	Valoe Chrome	20,1
8 %	Solarxon	18,7
	Trina Solar	23,4
	Valoe Chrome	> 30
10 %	Solarxon	24,8
	Trina Solar	> 30
	Valoe Chrome	> 30

Taulukosta 12 havaitaan, että laskentakorkokanta vaikuttaa tuloksiin merkittävästi. 10 %:n korkokannalla vain Solarxonin aurinkosähköjärjestelmä ehti maksaa itsensä takaisin ennen käyttöajan loppua. Valoe Chromen järjestelmä ei enää 8 %:n korkokannalla laskettuna olisi kannattava sijoitus.

Seuraavaksi tarkasteltiin ostosähkön hinnan nousun vaikutusta korolliseen takaisinmaksu-aikaan. Sähkön hinnan muutoksen vaikutusta kannattavuuteen verrattiin 2 %, 3 % ja 4 % vuosittaisella nousulla.

Taulukko 13. Aurinkosähköjärjestelmien korolliset takaisinmaksuajat eri sähkön hinnan nousuprosenteilla.

Ostosähkön hinnan nousu vuosittain	Aurinkosähköjärjestelmä	Korollinen takaisinmaksuaika [a]
2 %	Solarxon	15,1
	Trina Solar	17,2
	Valoe Chrome	20,3
3 %	Solarxon	12,0
	Trina Solar	14,0
	Valoe Chrome	18,5
4 %	Solarxon	11,4
	Trina Solar	13,1
	Valoe Chrome	17,0

Taulukossa 13 on aurinkosähköjärjestelmien korolliset takaisinmaksuajat, kun sähkön hinta nousee eri prosenteilla. Jos ostosähkön hinta nousee vain 2 % vuodessa, tulee takaisinmaksuaika olemaan 3 - 4 vuotta pidempi kuin 4 %:n sähkön hinnan nousulla.

Aurinkosähköjärjestelmien hintojen alenemista voidaan pitää todennäköisenä tulevaisuudessa. Lopuksi tarkasteltiin investointien kannattavuutta, jos järjestelmien hinnat laskisivat 10 % ja 20 % nykyisistä järjestelmien hinnoista.

Taulukko 14. Aurinkosähköjärjestelmien takaisinmaksuajat, kun järjestelmien hinnat laskevat.

Muutos- %	Aurinkosähköjärjestelmä	Korollinen takaisin- maksuaika [a]	Koroton takaisin- maksuaika, [a]
- 10 %	Solarxon	10,3	10,2
	Trina Solar	11,9	11,8
	Valoe Chrome	16,7	13,9
- 20 %	Solarxon	9,2	9,1
	Trina Solar	10,6	10,5
	Valoe Chrome	15,0	12,3

Taulukosta 14 havaitaan, että 20 %:n hintojen laskulla päästään Solarxonin paneeleilla alle 10 vuoden korolliseen takaisinmaksuaikaan. Myös muilla vertailussa olevilla järjestelmillä takaisinmaksuajat paranevat, kun investointikustannusta pienennetään.

14 Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus kohteeseen

14.1 Tarjoukset

Opinnäytetyöhön pyydettiin tarjouksia paikallisilta ja Suomessa toimivilta aurinkolämpöjärjestelmiä toimittavilta yrityksiltä. Savo-Solar ja Sundial Finland Oy olivat ainoat yritykset, joilta saatiin vastauksia tarjouskyselyyn. Savo-Solarille

tämä kohde oli liian pieni, joten he eivät tehneet tarjousta. Näin ollen ainoa tarjous tähän kohteeseen tuli Sundial Finland Oy:lta.

Sundial Finland Oy:lta pyydettiin kaksi eri kokoluokan tarjousta, jotta saataisiin selville kohteelle kannattavin aurinkolämpöjärjestelmä. Ensimmäinen tarjous, EL500, sisälsi 12 m² keräinpinta-alan ja 1 000 litran Akva Nero Solar 1 000-varaajan. Toisessa tarjouksessa, EL1000:ssa, keräinpinta-ala oli 18 m² ja varaajana oli Akva Nero Solar 2 000, jossa varaajatilavuus on 2 000 litraa.

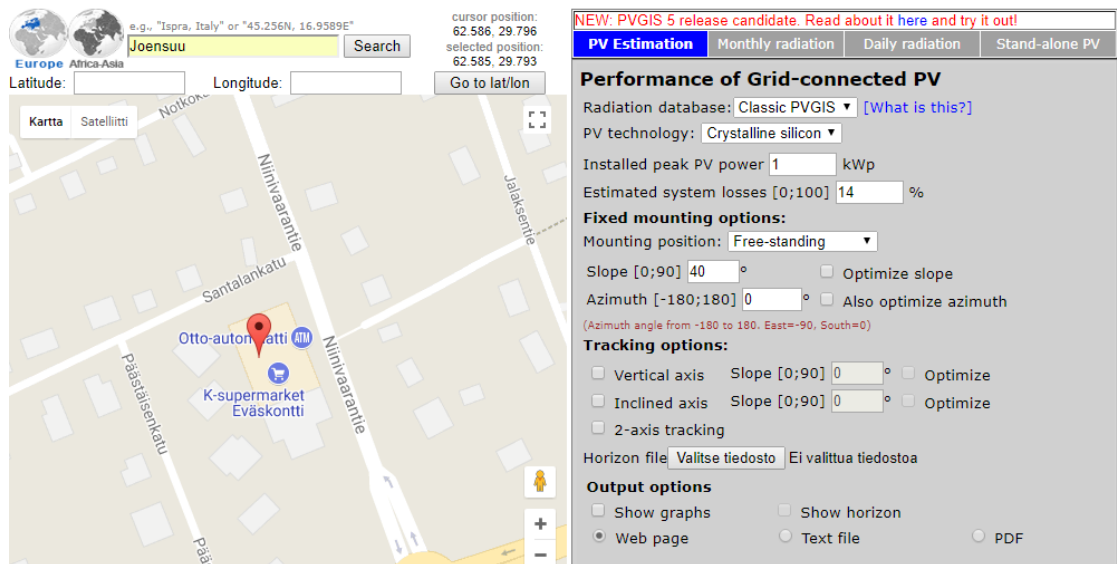
Taulukko 15. Sundial Finland Oy:n tarjoukset K-Supermarket Eväskontille.

	EL500	EL1000
Keräinpinta-ala	12 m ²	18 m ²
Aurinkolämpöpaketti	3600 €	4500 €
Asennustyö valmiiseen varaajaan kyt-	1800 €	2500 €
kettynä	1790 €	2200 €
Varaaja	700 €	820 €
Varaajan asennustyö + rahti		
Yhteensä	7890 €	10020 €

Aurinkolämpöpaketti sisältää aurinkokeräimet, kattoasennustarvikkeet, liittimet, lämmönsiirtonesteen, pumppuryhmän, automatiikan ja rahdit. Taulukon 15 tarjoukset ovat alustavia ja lopullista hintaa varten täytyy suorittaa paikkakatselmus.

14.2 Alustava mitoitus

Aurinkolämpöjärjestelmän alustava mitoitus tehtiin Microsoft Excel -ohjelmalla ja laskelmissa käytettiin ympäristöministeriön Aurinko-oppaan kaavoja. Joensuun auringonsäteilytiedot saatiin PVGIS-ohjelmasta. Ohjelmassa valittiin K-Supermarket Eväskontin sijainti kartalta sekä keräimien kallistus- ja suuntakulma. Näillä tiedoilla PVGIS-ohjelma laski kuukausittaisen auringonsäteilyn neliökilometriä kohden (kWh/m²).



Kuva 13. PVGIS-ohjelmalla valittu sijainti ja keräimien kallistus- ja suunta- kulmat.

Asennussuunnaksi valittiin etelä (0°) parhaimman tuoton saavuttamiseksi. Kallistuskulman valinnassa verrattiin 30° :n, 35° :n, 40° :n ja 45° :n kulmia. Taulukosta 16 havaitaan, että parhaan tuloksen antoi 40° kallistuskulma.

Taulukko 16. PVGIS-ohjelmasta saadut tulokset eri kallistuskulmille.

Kallistuskulma [$^\circ$]	Säteily kallistetulle pinnalle [kWh/m^2]
30	1 039
35	1 053
40	1 057
45	1 056

Laskelmissa lämpimän käyttöveden lämpötilana voidaan pitää 55°C . Kylmän veden lämpötilana voidaan käyttää joko arvoa 5°C tai kuukausikeskiarvoja (Lämmitysjärjestelmät ja lämminkäyttövesi - laskentaopas 2011, 83). Näissä laskelmissa käytettiin kylmän veden lämpötiloina kuukausikeskiarvoja mahdollisimman tarkkojen tulosten saavuttamiseksi (taulukko 17).

Taulukko 17. Kuukausikeskiarvot kylmän veden lämpötilalle (Ympäristöministeriö - Lämmitysjärjestelmät ja lämminkäyttövesi - laskentaopas 2011, 84.)

Kuukausi	Kylmän veden lämpötila [°C]
Tammikuu	6
Helmikuu	4
Maaliskuu	4
Huhtikuu	4
Toukokuu	5
Kesäkuu	6
Heinäkuu	8
Elokuu	9
Syyskuu	10
Lokakuu	10
Marraskuu	10
Joulukuu	8

Käyttöveden lämmitykseen tarvittava lämpöenergia saatiin nyt laskettua toimitetun lämpimän käyttöveden lämpötilan, kylmän veden lämpötilan ja lämpimän käyttöveden kulutuksen mukaan. Lämpimän käyttöveden kuukausittainen tarve ilman jakeluhäviöitä oli 7873 kWh. Tarkkaa tietoa jakeluhäviöille ei ollut, joten lämpimän käyttövedensiirron hyötysuhteena käytettiin arvoa 0,81, joka on liikerakennukselle kuuluva arvo (taulukko 18). Käyttövedensiirron hyötysuhde mukaan lukien saatiin lämpimän käyttöveden tarpeelle vuodessa 9720 kWh.

Taulukko 18. Vuosihyötysuhde lämpimän käyttöveden siirrolle (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2013, 41).

Rakennustyyppi	Kierto	$\eta_{\text{lkv, siirto}}$			
		Ei kiertoa			
		eristämätön	suojaputkessa	eristetty perustaso ¹⁾	eristetty parempi ²⁾
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutilat	0,96	0,75	0,85	0,89	0,92
asuinkerrostalo	0,97	0,76	0,86	0,90	0,94
Toimistorakennus	0,88	0,69	0,78	0,82	0,85
Liikerakennus	0,87	0,68	0,77	0,81	0,84
Majoitusliikerakennus	0,97	0,76	0,86	0,90	0,94
opetusrakennus ja päiväkot	0,89	0,70	0,79	0,83	0,86
Liikuntahalli	0,98	0,77	0,87	0,91	0,95
Sairaala	0,94	0,74	0,84	0,88	0,91

¹⁾ eristyksen perustaso tarkoittaa vähintään eristyspaksuutta 0,5 D, missä D on putken halkaisija

²⁾ eristyksen parempi taso tarkoittaa vähintään eristyspaksuutta 1,5 D, missä D on putken halkaisija

Yleisesti voidaan ajatella varaajatilavuuden olevan 50 - 100 litraa keräinneliötä kohti (Tahkokorpi ym. 2016, 106). Näin ollen tarjouksessa olevat 1 000 litran ja 2 000 litran varaajatilavuudet ovat perusteltuja.

Keräimien tuottoon tarvittavat tiedot saatiin suoraan Aurinko-oppaan kaavoista sekä keräimien omista tiedoista yhdistettynä sääkantatietoihin. Lopulliset tuotot sekä aurinkolämmön osuus lämpimän käyttöveden tarpeesta Sundial Finland Oy:n aurinkolämpöjärjestelmän tarjouksille nähdään taulukosta 19.

Taulukko 19. Sundial Finland Oy:n tarjousten mukaan Microsoft Excel -ohjelmalla laskettu arvio aurinkolämpöjärjestelmän tuotosta.

Aurinkolämpöjärjestelmä	Tuotto, [kWh]	Aurinkolämmönsuus lämpimän käyttöveden tarpeesta
EL500, 12 m ²	4088	42,1 %
EL1000, 18 m ²	5297	54,5 %

14.3 Lopullinen mitoitus T*SOL-ohjelmalla

Aurinkolämpöjärjestelmän lopullinen mitoitus tehtiin Thermal Simulation Software T*SOL-ohjelmalla.

Tarjouksissa olevia Sundial Finland Oy:n SF4-keräimiä ei löytynyt T*SOL- tai GetSolar-ohjelmista. Tästä syystä jouduttiin valitsemaan T*SOL-ohjelmasta Savo-Solarin keräimistä SF 100-02, SF 100-03 DE, SF 100-03 DS tai SF 100-05 SH. Tarjouksissa olevia keräimiä ei myöskään voitu vaihtaa näihin kyseisiin keräimiin. Tästä syystä kysyttiin Sundialin toimitusjohtaja Jarno Kuokkaselta, mikä näistä keräimistä on ominaisuuksiltaan kaikista lähimpänä SF4-keräintä.

Sundial Finland Oy:n SF4-keräinten lämpöenergian tuotanto on noin 5 – 10 % heikompi kuin Savo-Solarin keräimillä. Savo-Solarin SF 100-05 SH -keräinmallista saa laskelmille riittävän tarkkuuden. (Kuokkanen 2017.) Tällä perusteella mitoituslaskuihin valittiin T*SOL-ohjelman mitoituslaskuihin Savo-Solarin SF 100-05 SH -keräin.

Myöskään tarjouksessa olevia Akva Nero Solar 1 000- tai Akva Nero Solar 2 000 -lämminvestivaraajia ei löytynyt T*SOL-ohjelmasta. Näin ollen varaajien valintaan vaikuttivat oikea tilavuus, ja ne löytyivät saksalaiselta Weishauptin valmistajalta. Varaajamallit olivat Was 1000 Sol ja Was 2000 Sol.

T*SOL-ohjelmasta valittiin sijainniksi Joensuu, minkä perusteella ohjelma etsi simulaatiolle säätiedot ja säteilytiedot. Halutuksi lämpimän käyttöveden lämpötilaksi valittiin jo Excel-laskuissa ollut 55 °C.

Lisäksi välimatka varaajan ja keräimien välillä tuli määrittää. Varaajalle katsottiin paikka K-Supermarket Eväskontin tiloista ja se tuli pohjakerrokseen (kuva 14). Keräimien sijainti katolla oli suoraan yläpuolella suhteessa varaajaan pohjakerroksessa. Korkeusero pohjakerroksen ja rakennuksen katon välillä oli noin 7 metriä ja tästä syystä se asetettiin putkien pituudeksi varaajan ja keräimien välille.



Kuva 14. Varaajalle suunniteltu paikka K-Supermarket Eväskontin tiloissa (Kuva: Jouni Aallikko).

K-Supermarket Eväskontin aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus toteutettiin kiinteistön lämpimän käyttöveden kulutuksen perusteella. Suuntakulmaksi valittiin edelleen etelä ja kallistuskulman valinnassa verrattiin 30 - 60 asteen kallistuskulmia. Pienemmässä aurinkolämpöjärjestelmässä EL500:ssa verrattiin 30 - 45 asteen kallistuskulmia, kuten alustavissa laskelmissa Excelillä. EL1000:ssa verrattiin 45 - 60 asteen kulmia, jotta saataisiin tasoitettua aurinkolämpöjärjestelmän tuottoa koko vuodelle. Suuremmilla asennuskulmilla vähennettiin myös yli-tuotantoa kesäajalta.

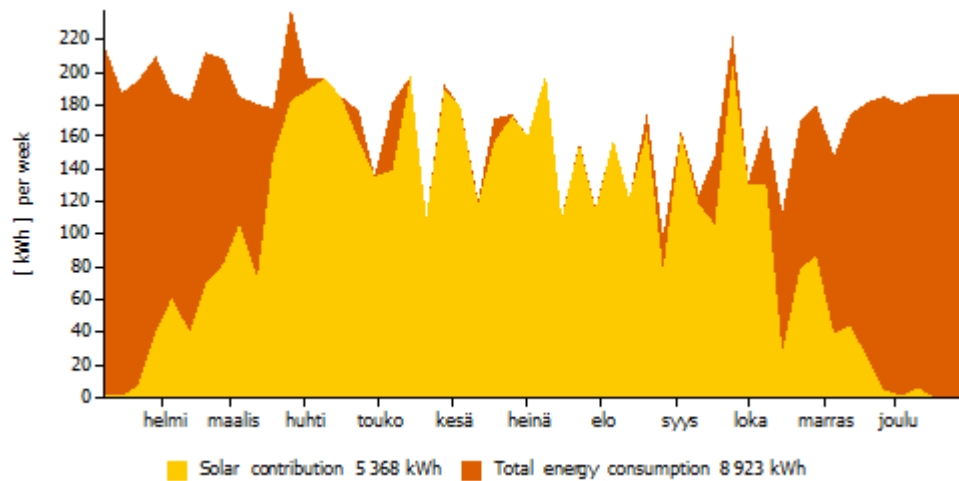
T*SOL-ohjelman mukaan käyttövedelle tarvitsema energiamäärä on 8 290 kWh.

Taulukko 20. T*SOL-ohjelman simulaatioiden tulokset.

	Tuotanto [kWh]/a	Energiantarve kaukolämmöstä [kWh/a]	Aurinkolämmön osuus lämpi- män käyttöve- den tarpeesta	Ylituotannon osuus [kWh]
EL500 (12m ²), kallistuskulma, °				
30	4 138	4 546	47,7 %	394
35	4 225	4 467	48,6 %	399
40	4 282	4 416	49,3 %	404
45	4 318	4 378	49,7 %	406
EL1000 (18 m ²), kallistuskulma, °				
45	5 290	3 631	59,3 %	631
50	5 344	3 583	59,9 %	636
55	5 368	3 554	60,2 %	633
60	5 363	3 557	60,1 %	630

Taulukosta 20 nähdään kallistuskulman vaikutus aurinkolämpöjärjestelmän vuosittaiseen tuottoon. Pienemmässä EL500-järjestelmässä simuloituilla 30, 35, 40, 45 asteen kulmilla nähdään, kuinka suuremmilla kallistuskulmilla päästään parempaan vuosittaiseen tuottoon. Kuitenkin samaan aikaan järjestelmän ylimenevä osuus on suurempi. Aurinkolämmön osuus lämpimästä käyttövedestä kasvaa kallistuskulman kasvamisen myötä, mutta on kuitenkin alle 50 %. Se on hyvä, sillä edullisimmat kilowattitunnit saa järjestelmästä, joka ei parhainakaan kesäpäivänä tuota kaikkea tarvitsemaansa energiaa (Erkkilä 2003, 56).

Suuremmassa aurinkolämpöjärjestelmässä simuloitiin parasta tuottoa 45, 50, 55, 60 asteen kallistuskulmilla. Parhaan vuosittaisen tuoton antoi 55 asteen kallistuskulma. Suuremmalla kallistuskulmalla saatiin myös vähennettyä kesäaikaista tuottoa, joka tuotti jo pienemmällä järjestelmällä yli kohteen lämpimän käyttöveden energiamäärän. Lisäksi suuremmilla kallistuskulmilla saatiin parannettua koko vuoden tuottoa. 55 asteen kallistuskulmalla ylimenevä osuus on myös suhteessa pienempi siitä saataviin tuottoihin verrattuna.



Kuvio 3. EL1000 -aurinkolämpöjärjestelmän kokonaislämmöntuotanto verrattuna K-Supermarket Eväskontin lämpimän käyttöveden tarpeeseen. Kallistuskulma oli 55 astetta.

Kuviosta 3 nähdään suuremman järjestelmän, EL1000, tuotannon ja lämpimän käyttöveden tarpeen kuukausittainen jakaantuminen. Ylituotantoa tulee varsinkin kesäaikana, mutta määrät ovat kuitenkin melko pieniä. Kuitenkin suuremmalla kallistuskulmalla saatiin vähennettyä kesäaikaista ylituotantoa ja lisättyä tuotantoa keväälle ja syksylle, jolloin ylituotantoa ei juurikaan synny.

15 Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus

15.1 Investointituki

Innovaatiorahoituskeskus Tekes myöntää energiatukea sellaisiin ilmasto- ja ympäristömyönteisiin investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka muun muassa edistävät uusiutuvan energian käyttöä tai tuotantoa. Energiatukea voivat saada kaiken kokoiset yritykset sekä yhteisöt, kuten kunnat, seurakunnat ja säätiöt. Aurinkolämpöhankkeiden investointituki vuonna 2017 on 20 %. Tukea ei kuitenkaan myönnetä alle 10 000 euron investointeihin. (Tekes 2017.)

EL500-aurinkolämpöjärjestelmän budjettihinta oli 7 890 euroa. Tämä ei ylitä investointitukeen oikeuttavaa 10 000 euroa, joten hinnaksi jää 7 890 €. EL1000-aurinkolämpöjärjestelmän budjettihinnaksi muodostui 10 020 euroa, joten se on oikeutettu investointitukeen. Lopulliseksi hinnaksi investointituen jälkeen jää 8 016 euroa.

15.2 Investointilaskelmien lähtötiedot

Investoinnin käyttöajaksi valittiin laskelmissa 30 vuotta. Ylläpitokustannuksina huomioitiin tarkastukset muutaman vuoden välein, ohjausyksikön ja paisuntaastian vaihdot sekä lämmönsiirtonesteiden vaihdot. Ylläpitokustannuksiksi arvioitiin käyttöajan aikana 10 % alkuinvestoinnista, ja se jaettiin jokaiselle käyttövuodelle. (Motiva 2016k.) Ylläpitokustannuksien vuosittaisena hinnannousuna käytettiin 2 %.

Nykyisen lämmitysenergian hinta kohteessa on 0,132 €/kWh (Ahrenberg 2017). Lämmitysenergian vuosittaisena hinnannousuna käytettiin Finsolarin aurinkolämmön kannattavuuslaskurissa 2 %, ja se valittiin työssä ostolämmön vuositaiseksi hinnannousuksi. (Finsolar 2017). Sähkön hintatietoina käytettiin toimeksiantajan antamia sähkönhintoja. Sähkön hinnannousuksi asetettiin 4 % vuodessa.

Kannattavuuslaskelmia tehtiin eri laskentakorkokannoilla.

Taulukko 21. Kannattavuuslaskelmien lähtötiedot.

Lähtötiedot	
Investoinnin käyttöaika	30 vuotta
Laskentakorko	3 %
Ylläpitokustannukset käyttöajan aikana	10 % alkuinvestoinnista
Ylläpitokustannusten hinnan vuosittainen nousu	2 %
Ostolämmön hinta	13,22 snt/kWh
Lämmitysenergian hinnan vuosittainen nousu	2 %
Sähkön hinta	6,6 snt/kWh
Sähkön hinnan vuosittainen nousu	4 %

Kiertovesipumpun tehon laskennassa käytettiin aurinko-oppaan kaavoja. Koska kiertovesipumpun yksityiskohtaisia tietoja ei ollut saatavilla, laskettiin pumpun teho aurinko-oppaan kaavalla 10 ja pumpun käyttöajan arvona käytettiin 2000 tuntia vuodessa.

Nykyisen lämmitysenergian hinta saatiin toimeksiantajalta ja lämmitysenergian määrä saatiin Fortumilta. Kesäaikaan K-Supermarket Eväskontissa ei kulu rakennuksen lämmittämiseen juuri yhtään lämpöenergiaa, vaan kaikki lämpöenergia menee lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Tästä syystä lämmitysenergian hinta- ja kulutustiedot valittiin heinä-elokuulta 2017, jotta saatiin lämpimään käyttöveteen kulunut energiamäärä.

15.3 Takaisinmaksuaika

Taulukko 22. Aurinkolämpöjärjestelmien korottomat ja korolliset takaisinmaksuajat 3 %:n laskentakorolla.

	EL500	EL1000
Keräinpinta-ala	12 m ²	18 m ²
Koroton takaisinmaksuaika [a]	14,9	12,2
Korollinen takaisinmaksuaika [a]	16,6	13,2

Toimeksiantajan toiveena oli, että investointien takaisinmaksuaika olisi alle 5 vuotta. Siihen tulokseen ei näillä tarjouksilla ja aurinkolämpöjärjestelmillä päästy. Taulukosta 22 havaitaan, että takaisinmaksuajan perusteella kannattavampi näistä järjestelmistä olisi EL1000. Koroton sekä korollinen takaisinmaksuaika on 2 - 3 vuotta vähemmän EL1000 aurinkolämpöjärjestelmällä. EL1000:n takaisinmaksuajat ovat 12 - 14 vuotta ja EL500:n 14 - 17 vuotta. Molempien järjestelmien takaisinmaksuaika on kuitenkin selvästi lyhyempi kuin järjestelmien käyttöaika. Tällä perusteella investoinnin voidaan arvioida olevan kannattava.

Työssä tehtiin herkkyyssanalyysijä, koska tulevaisuudessa esimerkiksi energian hinnan nousu on hankala ennustaa. Herkkyyssanalyysissä nähdään, kuinka yhden lähtöarvon muuttaminen vaikuttaa korolliseen takaisinmaksuaikaan.

Korolliseen takaisinmaksuaikaan vaikuttaa korkokannan suuruus. Korkokanta huomioi mm. inflaation, mahdollisen lainan korkotuottovaatimuksen sekä investoinnin tuotto-odotuksen. Työssä tarkasteltiin aurinkolämpöjärjestelmien korollisia takaisinmaksuaikoja eri laskentakoroilla, lämmitysenergian hinnan muutoksilla sekä aurinkolämpöjärjestelmien hinnan alenemisella.

Taulukko 23. Korkokannan vaikutus takaisinmaksuaikaan.

Korkokanta	Aurinkolämpöjärjestelmä	Keräinpinta-ala	Takaisinmaksuaika [a]
3 %	EL500	12 m ²	16,6
	EL1000	18 m ²	13,2
5 %	EL500	12 m ²	20,6
	EL1000	18 m ²	15,5
8 %	EL500	12 m ²	28,9
	EL1000	18 m ²	19,3
10 %	EL500	12 m ²	> 30
	EL1000	18 m ²	> 30

Taulukosta 23 nähdään, että laskentakorko vaikuttaa merkittävästi takaisinmaksuaikaan. Kumpikaan järjestelmä ei ehdi maksaa itseään takaisin 10 %:n korkokannalla. Erot takaisinmaksuajoissa pienemmän ja suuremman järjestelmän välillä kasvaa laskentakoron nostamisen myötä. Pienemmän EL500-järjestelmän kannattavuus ei olisi kovin kannattava edes 8 %:n korkokannalla.

Seuraavaksi tutkittavana oli nykyisen lämmitysenergian hinnanmuutos korolliseen takaisinmaksuaikaan. Nykyisen lämmitysenergian hinnan muutoksen vaikutusta kannattavuuteen vertailtiin 0,5 %, 1 %, 2 % ja 3 % vuosittaisella nousulla.

Taulukko 24. Lämmitysenergian hinnan nousun vaikutus takaisinmaksuaikaan.

Lämmitysenergian hinnan nousu vuositain	Aurinkolämpöjärjestelmä	Keräinpinta-ala	Korollinen takaisinmaksu, [a]
0,5 %	EL500	12 m ²	19,4
	EL1000	18 m ²	14,5
1 %	EL500	12 m ²	18,3
	EL1000	18 m ²	14,0
2 %	EL500	12 m ²	16,6
	EL1000	18 m ²	13,2
3 %	EL500	12 m ²	15,3
	EL1000	18 m ²	12,5

Taulukosta 24 nähdään, että lämmitysenergian hinnan nousulla ei ole niin paljon merkitystä kuin laskentakorolla. Kuitenkin, jos lämmitysenergian hinta nousee vain 0,5 % vuodessa, tulee takaisinmaksuaika olemaan 1 - 3 vuotta pidempi kuin alkuperäisellä 2 %:n lämpöenergian hinnan nousulla. Enemmän lämmitysenergian hinnan nousu vaikuttaa pienempään järjestelmään. Suuremmassa järjestelmässä energian hinnan nousu pidentää takaisinmaksuaikaa vain 2 vuotta, kun taas pienemmässä järjestelmässä vaikutus on 4 vuotta koko tarkasteluvälillä.

2000-luvun alusta lähtien aurinkoenergiateknologian hinnat ovat olleet selvässä laskussa, mutta vuodesta 2013 lähtien hintatasot ovat alkaneet vakiintua ja niiden hinnat tulevat jatkossa laskemaan aikaisempaa hitaammin (Finsolar 2016). Tästä syystä tarkasteltiin investointien kannattavuutta, jos järjestelmien hinnat laskisivat 10 % ja 20 % nykyisistä järjestelmien hinnoista.

Taulukko 25. Aurinkolämpöjärjestelmän hinnan vaikutus kannattavuuteen.

Muutos- %	Aurinkolämpöjär- jestelmä	Keräinpinta- ala	Korollinen takaisinmak- suaika [a]	Koroton takaisinmak- suaika [a]
- 10 %	EL500	12 m ²	14,7	13,4
	EL1000	18 m ²	14,9	13,7
- 20 %	EL500	12 m ²	13,9	11,9
	EL1000	18 m ²	13,0	12,2

Järjestelmän hinnan laskeminen sekä 10 % että 20 % vaikuttaa EL1000-aurinkolämpöjärjestelmän hintaan siten, että investointi laskee alle 10 000 euron eli investointituki häviää. Korollisessa takaisinmaksuajassa se näkyy parhaiten 10 %:n hintojen laskulla, sillä silloin pienempi järjestelmä antaa jopa lyhyemmän takaisinmaksuajan kuin suurempi järjestelmä (taulukko 25). Tästä voidaan päätellä, että investointituella on suuri merkitys suuremman järjestelmän kannattavuudelle.

15.4 Nykyarvomenetelmä

Taulukko 26. Nykyarvomenetelmän tulokset 3 %:n laskentakorolla.

	Nykyarvo
EL500, 12 m ²	5 436 €
EL1000, 18 m ²	8 774 €

Nykyarvomenetelmällä tulevien vuosien nettotuotot diskontattiin 3 %:n korkokannalla nykyhetkeen. Investoinnin jäännösarvona käytettiin 0 %. Nettotuottojen summasta vähennettiin hankintakustannus, jolloin saatiin tietää investointien tuottojen ja kustannusten nykyarvojen erotukset. Nykyarvomenetelmällä molemmat järjestelmät ovat kannattavia.

15.5 Sisäinen korkokanta

Taulukko 27. Aurinkolämpöjärjestelmien sisäinen korkokanta.

Sisäinen korkokanta, %	
EL500, 12 m ²	7,1
EL1000, 18 m ²	9,2

Taulukosta 27 nähdään sisäisen korkokannan laskentamenetelmän tulokset. EL1000-järjestelmällä päästään yli yhdeksän prosentin tuottoihin ja EL500:lla yli seitsemän prosentin tuottoihin. Molempien järjestelmien kohdalla tulosta voidaan pitää hyvänä tuottona investoinnille.

16 Pohdinta

Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuustarkastelussa huomattiin, että 20 kW_p:n aurinkosähköjärjestelmillä päästiin kannattavuuslaskelmissa hyviin tuloksiin. Tuloksista voitiin päätellä, että aurinkosähköjärjestelmään investoiminen olisi K-Supermarket Eväskontissa pitkällä aikavälillä kannattavaa. Koroton takaisinmaksuaika oli järjestelmissä 11 - 15 vuotta ja sisäinen korkokanta 7 - 10 %. Kannattavin järjestelmä oli kaikilla kannattavuuslaskentamenetelmillä mitattuna Sähkö Holkin järjestelmä.

Toimeksiantajan toivomaa viiden vuoden takaisinmaksuaikaa ei tuloksissa saavutettu, mutta lähimmäs tätä tulosta päästiin Sähkö Holkin järjestelmällä, kun ajateltiin järjestelmän hinnan laskevan tulevaisuudessa 20 %. Takaisinmaksuajaksi jäi silloin 9,1 vuotta. Aurinkosähköjärjestelmien hintojen laskemista voi pitää tulevaisuudessa todennäköisenä skenaariona, mutta toisaalta hintojen laskulla voi olla vaikutusta investointituen määrään.

Jos paneeleiden asennuspaikkana olisi mahdollista hyödyntää koko Eväskontin kattopinta-alaa, saataisiin katolle mahtumaan suurempi aurinkosähköjärjestelmä, joka vastaisi paremmin kohteen sähkönkulutusta. Jos tämä olisi mahdollis-

ta, voisi kannattavuuslaskelmia tehdä myös suuremman järjestelmän suhteen ja vertailla niitä tässä työssä saatuihin tuloksiin.

Aurinkolämpöjärjestelmien kannattavuuslaskelmissa päästiin 12 - 15 vuoden korottomiin takaisinmaksuaikoihin. Suurempi järjestelmä, EL1000, oli kannattavampi lähes kaikilla laskentamenetelmillä mitattuna. Suuremman järjestelmän kannattavuutta ei heikentänyt se, että se oli hieman ylimitoitettu kohteeseen. Sen kannattavuutta nimittäin paransi merkittävästi investointituki. Pienemmän aurinkolämpöjärjestelmän, EL500, budjettihinta oli alle 10 000 euroa, ja se ei ollut oikeutettu investointitukeen toisin kuin suurempi järjestelmä.

Kannattavuustarkasteluissa ei päästy toimeksiantajan toivomaan 5 vuoden takaisinmaksuaikaan, mutta molemmat järjestelmät maksavat kuitenkin itsensä takaisin 12 - 15 vuotta ennen käyttöajan loppumista. Näin ollen niitä voidaan pitää kannattavina.

Kannattavuuslaskelmissa tehtiin erilaisia herkkyyssanalyyskejä muuttamalla laskentakorkokantaa, energian hinnan nousuprosenttia sekä aurinkolämpöjärjestelmien investointihintoja. Selvästi suurin vaikutus kannattavuuteen oli laskentakorkokannan suuruudella. Sitä nostamalla aurinkolämpöjärjestelmien korolliset takaisinmaksuajat nousivat huomattavasti ja 10 %:n laskentakorolla kumpikaan järjestelmä ei maksa itseään takaisin ennen aurinkolämpöjärjestelmän käyttöajan loppua.

Lämmitysenergian hinnan muutoksella oli odotettua pienempi vaikutus kannattavuuteen. Sen vaikutus oli vain 1 - 3 vuotta korolliseen takaisinmaksuaikaan.

Jos aurinkolämpöjärjestelmien hinnat alenevat 10 - 20 % tulevaisuudessa, tulee pienemmästä järjestelmästä kannattavampi. Tällöin suuremman järjestelmän budjettihinta alittaa investointitukeen oikeuttavan 10 000 euroa.

Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuutta tässä kohteessa heikentää K-Supermarket Eväskontin lämpimän käyttöveden kulutus, joka on verrattain pien-

tä. Aurinkolämpöjärjestelmä on pääsääntöisesti optimaalisinta mitoittaa sellaiseen rakennukseen, jossa lämmintä käyttövedettä kuluu paljon.

Takaisinmaksuajan menetelmä on ongelmallinen aurinkoenergiainvestointien arvioinnissa. Menetelmä ei huomioi rahan korkoa eikä investoinnin tuottovaatimusta. Menetelmä ei myöskään huomioi tuottoja, jotka syntyvät takaisinmaksuajan jälkeen. Takaisinmaksuaika on helposti ymmärrettävissä oleva kannattavuuden mittari, joka soveltuu parhaiten tukemaan muiden menetelmien tuloksia.

Sisäinen korkokanta on yritysmaailmassa yleisesti käytetty kannattavuuden mittari. Investointia voidaan pitää kannattavana, jos sen sisäinen korkokanta on vähintään yhtä suuri kuin tavoitteeksi asetettu pääoman tuotto prosentti. Tässä työssä investoinnille ei ollut asetettu tuottovaatimusta. Laskennallisesti sisäistä korkokantaa voidaan pitää pääoman tuotto prosenttina (Tahkokorpi ym. 2016, 188). Sisäisen korkokannan avulla toimeksiantaja voi esimerkiksi vertailla aurinkoenergiainvestointia muihin vaihtoehtoihin sijoituksiin. Tässä kohteessa kannattavimpien aurinkoenergiajärjestelmien sisäiset korkokannat olivat noin 10 %.

16.1 Epävarmuustekijät

Opinnäytetyön tulokset eivät ole täysin luotettavia ja absoluuttisia. Aurinkoenergiajärjestelmien tuotantoon vaikuttavat vuosittaiset auringonsäteilyn määrät ja muut sääolosuhteet. Sen takia mitoituksista ei voida saada täysin paikkaansa pitäviä laskelmia, vaan tulokset ovat enemmänkin suuntaa antavia.

Kannattavuuslaskelmat toteutettiin mahdollisimman tarkasti, mutta ostosähkön ja -lämpöenergian hintakehityksistä ei voitu antaa tarkkoja skenaarioita, vaan ne perustuivat arvioihin.

Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitukseen tarvittavasta lämpimän käyttöveden kulutuksesta kiinteistössä ei ollut saatavilla tarkkoja mittarilukemia, joten lämpimän käyttöveden kulutus arvioitiin Joensuun Vedeltä saadun vedenkulutuksen ja Kesko Oyj:n kiinteistöpäälliköltä saatujen tietojen perusteella.

Lisäksi mitoitushjelmistoissa ei ollut valittavissa Sundial Finland Oy:n tarjouksessa käytettyjä aurinkokeräimiä ja lämminvesivaraajia. Sundialin toimitusjohtajalta pyydettiin arvioita siitä, mitkä ohjelmistossa valittavissa olevista keräimistä olisivat lähimpänä tarjouksessa käytettyjä keräimiä.

16.2 Toimenpidesuosituks

Taulukossa 28 vertailtiin aurinkosähkön- ja aurinkolämmöntuotannon kannattavimpia järjestelmiä keskenään. Kaikilla työssä käytetyillä kannattavuuslaskentamenetelmillä aurinkosähköjärjestelmään sijoittaminen olisi kannattavampi vaihtoehto. Aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien kannattavuuksien erot olivat kuitenkin yllättävän pieniä. Tulos voi johtua siitä, että aurinkosähköjärjestelmä on huomattavasti alimitoitettu, ja suuremmalla järjestelmällä olisi päästy vielä parempiin tuloksiin.

Taulukko 28. Aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien kannattavuuksien vertailu.

	Sähkö Holkin aurinkosähköjärjestelmä, (Solarxon)	Sundial Finland EL1000 -aurinkolämpöjärjestelmä, 18 m ²
Koroton takaisinmaksuaika [a]	11,3	12,2
Korollinen takaisinmaksuaika (3 %) [a]	11,4	13,2
Nykyarvo [€]	23 709	8 774
Sisäinen korkokanta	10,8 %	9,2 %

Aurinkoenergianinvestointia mietittäessä kannattaa ottaa huomioon myös ympäristöseikat. Aurinkoenergian käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjä, ja se voi vaikuttaa yrityksen imagoon positiivisesti ollen tärkeä kilpailuvaltti asiakkaiden suhteen.

Lähteet

- Ahrenberg, M. 2017. K-Supermarket Eväskontin lämpöenergian kulutustiedot. sahko.yritys@fortum.com. 4.11.2017
- Aurinko-opas 2012. 2011. Aurinkolämmön ja -sähkön energiantuotannon laskennan opas. Ympäristöministeriö.
- Aurinkoteknillinen yhdistys ry. 2017. Aurinkoteknologia sanasto. (Aurinkoteknillinen yhdistys ry). <http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/liite/sanasto.pdf>. 20.2.2017.
- Aurinkopaneeli - kaikki tieto aurinkopaneeleista. Huolto-ohje. <http://www.aurinkopaneeli.org/huolto-ohjeet/>. 17.2.2017.
- D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2013. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ympäristöministeriö. https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5_2012.pdf.
- Erat, B., Erkkilä, V., Löfgren, T., Nyman, C., Peltola, S. & Suokivi, H. 2001. Aurinko-opas - Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Nurmijärvi. Rakennusalan kustantajat RAK. KIRJAKAS KY.
- Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas - aurinkoenergiaa rakennuksiin. Aurinkoteknillinen Yhdistys ry.
- Erkkilä, V. 2003. Aurinkolämpöopas itserakentajille. Helsinki. Gummerus Kirjapaino Oy.
- Finsolar. 2017. Aurinkosähkön kannattavuuslaskurit. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/kannattavuuslaskurit/>. 26.10.2017.
- Finsolar 2016. Aurinkoenergiainvestointien kannattavuuden haasteet. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkoenergian-tuotantohintoja/>. 4.11.2017.
- Fortum. 2017. Puhdasta lämpöä metsistä. <https://www.fortum.com/countries/fi/lampo/tulevaisuuden-lampo/metsahake/Pages/default.aspx>. 23.2.2017.
- Ipatti-Pöllänen, T. 2017. K-Supermarket Eväskontin vedenkulutustiedot. tarija.ipatti-pollanen@jns.fi. 23.2.2017.
- Joensuun Telemaailma Oy. Tietoja meistä. <https://www.telemaailma.com/tietoja-meistae>.
- Kallio, S. 2017. Myyntipäällikkö. Fortum Power & Heat Oy. 15.2.2017. Puhelinkeskustelu
- Kohonen, J. 2017. Kysely kiinteistön lämpimän veden osuudesta. jesse.kohonen@kesko.fi. 28.2.2017.
- Kuokkanen, J. 2017. Aurinkolämpöjärjestelmän tarjous. jar-no.kuokkanen@sundial.fi. 24.10.2017.
- Käpylehto, J. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Helsinki: Into kustannus Oy.
- Lindström, D. 2008. Aurinkolämmön rakentamisen opas. Vaasa. Oy KEAB-PAPER Ab.

- Lämmitysjärjestelmät ja lämmin käyttövesi – laskentaopas. 2011. Järjestelmien lämpöhäviöiden laskenta ja hyötysuhteiden määrittäminen. Ympäristöministeriö.
https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/lammitysjarjestelmat_laskentaopas_2012.pdf.
- Matthias Fried Oy. 2017. Auringon lämpöenergiaa talteen putkikeräimellä.
<http://www.matthiasfried.fi/tuotteet/aurinkoenergiaratkaisut/putkikerain/>. 12.9.2017.
- Matthias Fried Oy. 2017. Tasokeräimet – Aurinkoenergiaa katolta ja seinistä.
<http://www.matthiasfried.fi/tuotteet/aurinkoenergiaratkaisut/tasokerain/>. 12.9.2017.
- Motiva Oy. 2015. Kylmää tehokkaasti päivittäistavarakaupalle.
http://www.motiva.fi/yritykset/hallitse_ja_tehosta_yrityksen_energian_kayttoa/nykytilan_selvitys/nykytilan_selvitys_menetelmia/kylmaa_tehokkaasti_analyysi. 19.1.2017.
- Motiva Oy. 2016a. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus. 26.1.2017.
- Motiva Oy. 2016b. Auringonsäteilyn määrä Suomessa.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa. 26.1.2017.
- Motiva Oy. 2016c. Aurinkosähköjärjestelmän teho.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho. 27.1.2017.
- Motiva Oy. 2016d. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma. 27.1.2017.
- Motiva Oy. 2016e. Mitoitusmenetelmiä.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia. 26.1.2017.
- Motiva Oy. 2016f. Aurinkolämmön perusteet.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolammon_perusteet. 12.9.2017.
- Motiva Oy. 2016g. Aurinkokeräinten hyötysuhteet.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/aurinkokerainten_hyotysuhteet. 12.9.2017.
- Motiva Oy. 2016h. Tasokeräimet.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tasokeraimet. 12.9.2017.

- Motiva Oy. 2016i. Nestekiertoiset keräimet.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet. 12.9.2017.
- Motiva Oy. 2016j. Järjestelmän muut osat.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/jarjestelman_muut_osat. 12.9.2017.
- Motiva Oy. 2016k. Hinnat ja kannattavuus.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/hankinta_ja_asennus/hinnat_ja_kannattavuus. 24.10.2017.
- Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. 2007. Johdon laskentatoimi. Helsinki: Edita.
- Nääppä, M. 2017. Tienviitta aurinkosähköön: aurinkosähköjärjestelmän toteutus elintarvikemyymälään. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus. Opinnäytetyö.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/126500/Naappa_Mikko.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 21.11.2017.
- Paavola, M. 2012. Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien potentiaali Tampereella.
http://www.hermiagroup.fi/@Bin/1425839/Diplomityo_Paavola_painettuversio.pdf. 26.1.2017.
- Pirhonen, M. 2017. Aurinkosähköjärjestelmän käyttömahdollisuus Pohjois-Karjalan Osuuskaupan Siilaisen toimipisteessä. Karelia-ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutus. Opinnäytetyö.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/123674/Pirhonen_Mika.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 21.11.2017.
- Pykäläinen, S. 2017. Suullinen tiedonanto. 24.10.2017.
- Pöyry Management Consulting Oy. 2017. Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali, kannattavuus ja tulevaisuuden näkymät Suomessa. Valtioneuvoston kanslia.
http://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/5_2017_Hajautetun+uusiutuvan+energiantuotannon+potentiaali%2C+kannattavuus+ja+tulevaisuuden+n%C3%A4kym%C3%A4t+Suomessa/f7fa0126-2880-452d-954b-f52ea5f0a9a0?version=1.0. 7.2.2017.
- SolarWorks. Tietoja meistä.
<https://www.solarworks.fi/tietoja-meista>. 18.9.2017.
- Solpros Ay. 2017. Aurinkolämpöjärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö.
<http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf>. 27.1.2017.
- Suntekno. 2012a. Aurinkoenergia.
<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>. 26.1.2017.
- Suntekno. 2012b. Aurinkopaneelit.
<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>. 27.1.2017.
- Sähkö Holkki. Aurinkosähkö.
<http://sahkoasennus-joensuu.fi/aurinkosahko/>. 13.9.2017.
- Tahkokorpi, M., Erat, B., Hänninen, P., Nyman, C., Rasinkoski, A. & Wiljander, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into Kustannus.
- Tahkokorpi, M., Hagström, M. & Vanhanen, J. 2011. Aurinkolämmön mahdollisuudet kaukolämpöjärjestelmässä. Gaia Consulting Oy.
http://188.117.57.25/sites/default/files/aurinkokaukolammon_mahdollisuudet_gaia_2011.pdf. 30.1.2017.

Tekes. 2017. Energiatuki. <https://www.tekes.fi/rahoitus/pk-yritys/energiatuki/>.
27.9.2017.

Valtiovarainministeriö. 2017. Energiaverotus. <http://vm.fi/energiaverotus>.
25.10.2017.